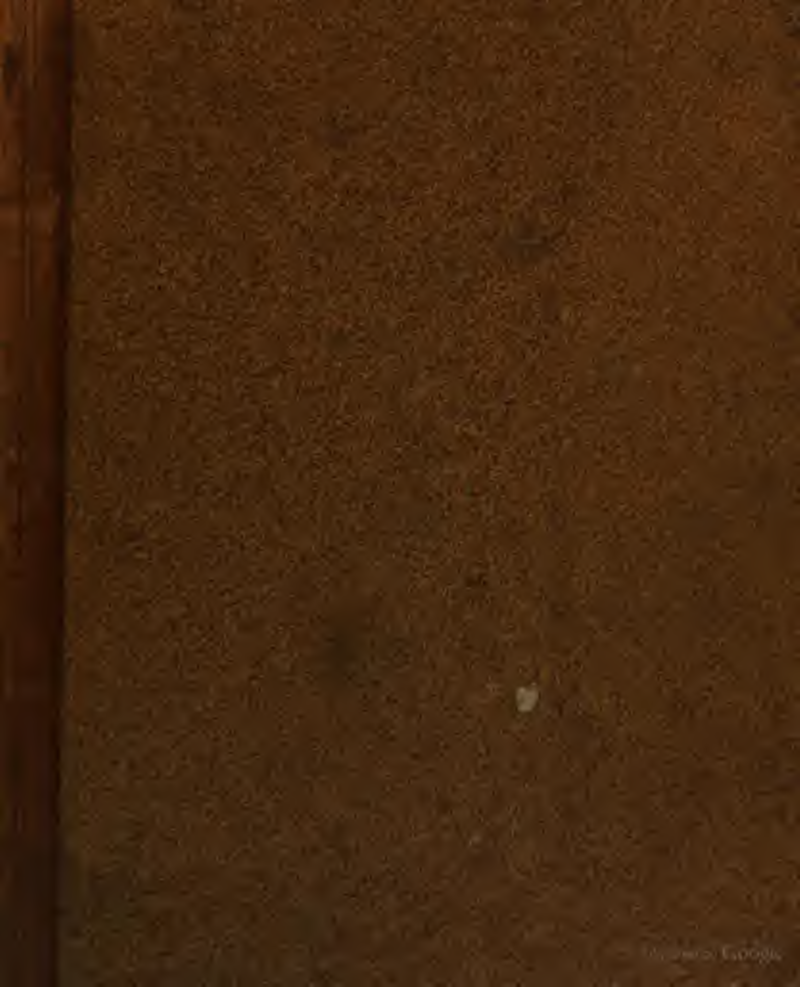


A. Hyde 327

Crelle



Über

die sogenannten

atmosphärischen Eisenbahnen;

so wie

über verschiedene andere Arten,

die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen.

Herausgegeben

von

A. L. Crelle.

(Besonders abgedruckt aus dem 21ten und 22ten Bande von dessen Journal der Baukunst.)

Mit neun Figurentafeln.

Berlin,
Druck und Verlag von G. Reimer.
1846.

Die verschiedenen Nachrichten und Urtheile über die sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen und über die Eisenbahn dieser Art zwischen Dublin und Kingstown insbesondere, von welchen Nachrichten und Urtheilen der *erste* Theil gegenwärtiger Schrift aus den bis gegen das Ende des vorigen Jahres bekannt gewordenen die bemerkenswerthesten mittheilt, veranlafsten den Herausgeber des in Berlin erscheinenden Journals für die Baukunst zu den im *zweiten* Theile gegenwärtiger Schrift enthaltenen Untersuchungen über die verschiedenen Arten überhaupt, die Spannung der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen. Alles dieses ist allmälig theilweise im 21ten und 22ten Bande des genannten Journals für die Baukunst mitgetheilt worden. Hier erscheint es beisammen, und mit dem Wunsche, dafs besonders die Resultate der Untersuchungen im zweiten Theile nicht übersehen werden möchten.

Da die zu der gegenwärtigen Zusammenstellung bestimmten Abdrücke der Figurentafeln aus Versehen zum Theil schon bei der Ausgabe der Hefte des Journals für die Baukunst gemacht worden waren, so konnten die Zahlen und die Bezeichnung der Figurentafeln nicht mehr geändert werden. Es ist daher zu bemerken, dafs die Figurentafeln in nachstehender Weise aufeinanderfolgen. Die ersten Tafeln sind die No. IV. V. VI. und VII. aus Band XXI. Heft 1., darauf folgen Taf. I. II. III. aus Band XXII. Heft 1. und dann Taf. V. und VI. aus Band XXII. Heft 2.

Berlin, im November 1845.

Inhaltsverzeichnifs.

Erster Theil.

Technische Auseinandersetzungen über die sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen; insbesondere über die Bahn bei Dublin. Urtheile verschiedener Sachverständiger über diese neue Eisenbahn-Art. Desgleichen Einiges von den Vorschlägen zu noch andern Arten von Eisenbahnen.

Vorbemerkung. . . . . Seite 1

Cleggs und Samudas atmosphärische Eisenbahn. (Aus dem Civil-Engineer and Architects-Journals. Tom. 3. 1840. S. 289.) . . . . — 6

Bericht über die atmosphärische Eisenbahn zwischen Kingstown und Dalkey in Irland und über die allgemeine Anwendung des atmosphärischen Systems. Erstattet von Herrn Mallet, inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées. Nebst den Bemerkungen des Herrn Petiet, Ingenieurs der Eisenbahn zwischen Paris und Versailles auf dem rechten Ufer der Seine. — 13

Erster Abschnitt. Beschreibung der Eisenbahn zwischen Kingstown und Dalkey und der dortigen Bewegungs-Vorrichtung; nebst den Ergebnissen der auf dieser Bahn angestellten Versuche. . . . . . . — 15

Zweiter Abschnitt. Über die Anwendung des atmosphärischen Systems auf Eisenbahnen im Allgemeinen. . . . . — 33

Dritter Abschnitt. Vergleichung der Kosten von Eisenbahnen nach dem atmosphärischen System mit den Kosten derer für Dampfwagen. — 54

Vierter Abschnitt. Vergleichung der Kosten der Benutzung der Dampfwagen- und der atmosphärischen Eisenbahnen. . . . . — 61

Einige andere Vorschläge zur Bewegung von Lasten auf Eisenbahnen, anders als durch Dampfkraft.

I. Triebröhre des Herrn Hallette für sogenannte atmosphärische Eisenbahnen. . . . . — 75

II. Des Herrn Pecqueur Vorschlag, die Spannung zusammenprefster Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen. . . . . — 77

III. Versuche mit einer Zugmaschine für Eisenbahnen, auf welche die zusammengeprefste Luft so wirkt, wie der Dampf auf Dampfwagen. . . — 81

IV. Vorschlag eines Ungenannten in No. 17. des „Journal des chemins de fer" von 1844 zu Triebröhren auf Eisenbahnen, die durch zusammengeprefste Luft hinter dem Kolben aufgebläht werden. . . . . . . — 83

V. Schuttleworths hydraulische Eisenbahn. . . . . — 85

Zweiter Theil.

Über die verschiedenen Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen, von welchen eine die der sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ist.

		Seite
I. Vergleichung der Spannkraft des Dampfs und der Luft im Allgemeinen.	§. 1 — 3.	89
II. Verschiedene Arten, die Spannkraft der Luft auf Eisenbahnen zu benutzen.	§. 4.	93
III. Technische Vorrichtungen zu den obigen verschiedenen Arten der Benutzung der Luft.	§. 5 — 14.	95
IV. Verdünnung und Verdichtung der Luft in der Triebröhre.	§. 15.	108
a. Erster Fall: des Auspumpens der Luft aus der Triebröhre.	§. 16.	109
b. Zweiter Fall: des Einpumpens der Luft in die Triebröhre.	§. 17.	115
V. Nachtheile der Art, die Luft unmittelbar entweder aus der Triebröhre auszupumpen, oder sie in dieselbe hineinzutreiben.	§. 18.	117
VI. Behälter.	§. 19.	118
VII. Bau-Art der Behälter.		
a. Erster Fall: des Ausschöpfens der Luft aus der Triebröhre.	§. 20.	119
b. Zweiter Fall: des Zusammenpressens der Luft in der Triebröhre.	§. 21.	121
VIII. Maschinen und Luftpumpen für die Behälter.		
a. Erster Fall: der Verdünnung der Luft in der Triebröhre und in den Behältern.	§. 22.	124
b. Zweiter Fall: des Zusammenpressens der Luft in der Triebröhre und in den Behältern.	§. 23.	128
IX. Vergleichung der Anordnungen ohne Behälter und mit Behältern.		
a. Erster Fall: mit verdünnter Luft in der Triebröhre.	§. 24.	130
b. Zweiter Fall: mit zusammengepreſster Luft in der Triebröhre.	§. 25 — 26.	132
X. Vorrichtung No. III. §. 4. mit einer durch eingepumpte Luft sich aufblähenden Triebröhre ohne Schlitz.	§. 27.	137
XI. Verhalten der Wirkung der Luft in der Triebröhre zu der fortzubewegenden Last.		
a. Nöthige Zugkraft.	§. 28.	138
b. Nöthige Kraft zur Hervorbringung der Geschwindigkeit.	§. 29.	139
c. Moment der nöthigen Zugkraft.	§. 30.	143
d. Vergleichung.	§. 31.	145
e. Durchmesser der Triebröhre.	§. 32.	147

			Seite
XII.	***Luftwagen von der ersten Art, bei welchem die zusammengeprefste Luft während des ganzen Kolbenlaufs in die Cylinder eingelassen wird.***		
a.	Beschreibung desselben und seiner Wirkungen.	§. 33.	149
b.	Berechnung der Wirkung der Spannung der Luft in einem Luftwagen von der ersten Art auf das Forttreiben des Wagenzuges, und umgekehrt.	§. 34 — 37.	154
c.	Von den vortheilhaftesten Gefällen einer Bahn für Luftwagen von der ersten Art.	§. 38 — 40.	170
d.	Wirkungen des Einpumpens der Luft auf starken Abhängen auf das Hemmen bei Luftwagen erster Art.	§. 41. 42.	179
XIII.	***Luftwagen von der zweiten Art, bei welchem die zusammengeprefste Luft nur während eines Theils des Kolbenlaufs in die Cylinder eingelassen wird.***		
a.	Beschreibung desselben und seiner Wirkungen.	§. 43 — 45.	189
b.	Berechnung der Wirkung der Spannung der Luft in einem Luftwagen zweiter Art auf das Forttreiben des Wagenzuges, und umgekehrt.	§. 46 — 52.	197
c.	Wirkungen des Einpumpens der Luft auf starken Abhängen auf das Hemmen.	§. 53.	215
d.	Übersicht der bisherigen Resultate für Luftwagen zweiter Art.	§. 54.	217
e.	Von den vortheilhaftesten Gefällen der Bahn für Luftwagen zweiter Art.	§. 55. 56.	220
XIV.	***Vom Eingreifen der Luftwagen, so wie der Dampfwagen, auf die Bahnschienen, und von dem diesen Zugmaschinen nöthigen Gewicht.***	§. 57.	223
XV.	***Mittel, das Eingreifen der Triebräder zu verstärken, ohne das Gewicht der Maschinen zu vergröfsern.*** . . .	§. 58.	226
XVI.	***Vom Hemmen.***	§. 59. 60.	228
XVII.	***Mittel, die Schwierigkeit der Correspondenz zwischen dem Wagenführer und dem Maschinisten an der Luftpumpe bei Triebröhrenbahnen zu vermeiden.***	§. 61.	234
XVIII.	***Luft- und Kraftbedarf für das Eisenbahnsystem No. IV. §. 4.***	§. 62 — 64.	238
XIX.	***Luft- und Kraftbedarf für das Eisenbahnsystem No. V. §. 4.***	§. 65. 66.	247
XX.	***Beispiel zu dem System No. V. §. 4., nebst der Schätzung der Anlage-, Erhaltungs- und Betriebskosten der Bahn.***	§. 67.	254

Seite

XXI. Vergleichung der verschiedenen Eisenbahnsysteme in Rücksicht der Kosten der Anlage, der Erhaltung und der bewegenden Kraft, an einem Beispiele. . . . . §. 68. 260
a. Erstes System, mit verdünnter Luft in der Triebröhre oder das eigentlich sogenannte atmosphärische System. . . . §. 69. 260
b. Zweites System, mit zusammengepreſster Luft in einer Triebröhre mit Schlitz und Klappe. . . . . §. 70. 264
c. Drittes System, mit zusammengepreſster Luft in einer Triebröhre ohne Schlitz und Klappe. . . . . §. 71. 265
d. Viertes System, mit zusammengepreſster Luft in einer Röhre zwischen den Schienen und mit Luftwagen. . . . . . §. 72. 266
e. Fünftes System, mit zusammengepreſster Luft in transportablen Behältern. . . . . §. 73. 268
f. Zusammenstellung der Anlage-, Erhaltungs- und Benutzungskosten der fünf verschiedenen Systeme, gegen die einer Dampfwagenbahn verglichen . . . . §. 74. 269

XXII. Vergleichung der fünf verschiedenen Systeme in Rücksicht ihrer andern Eigenschaften.
a. In Rücksicht ihrer Eignung zum Ersteigen langer und steiler Abhänge . . . . §. 75. 273
b. Vergleichung für die Fälle wo die Bahn abwechselnd ziemlich stark steigt und fällt. . . . . §. 76. 275
c. Vergleichung der fünf Systeme in Absicht der Schnelligkeit der Fahrt. §. 77. 278
d. Vergleichung der fünf Systeme in Rücksicht der Sicherheit der Fahrt. §. 78. 282
e. Vergleichung der fünf Systeme in Rücksicht der Ersparungen an den Anlagekosten der Bahn, die sie gegen eine Dampfwagenbahn gewähren können. . . . . §. 79. 284
f. Von den Krümmen einer Eisenbahn. . . . . §. 80. 288
Übersicht der Vergleichung der fünf Systeme unter einander und mit dem Dampfwagensystem. . . . . §. 81. 289

XXIII. Resultat. . . . . §. 82. 292

Erster Theil.

Technische Auseinandersetzungen über die sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen, insbesondere über die Bahn bei Dublin. Urtheile verschiedener Sachverständiger über diese neue Eisenbahn-Art; desgleichen Einiges von den Vorschlägen zu noch andern Arten von Eisenbahnen.

Vorbemerkung.

Bekanntlich ist bei Dublin in Irland, die Eisenbahn zwischen Dublin und Kingstown fortsetzend, von letzterem Ort bis Dalkey eine *sogenannte atmosphärische Eisenbahn* erbaut worden, welche jetzt auch befahren wird. Auch ist allgemein bekannt, dafs diese sogenannte atmosphärische Eisenbahn von den gewöhnlichen darin sich unterscheidet, dafs auf ihr die Wagenzüge nicht durch Dampfwagen fortgezogen werden, sondern dafs zwischen die Schienen eine die ganze Bahn entlang laufende eiserne Röhre gelegt ist, die man *Triebröhre* nennen kann, und in welcher ein mit dem vordersten Wagen des Wagenzuges in Verbindung gebrachter Kolben sich befindet, *vor* welchem die Luft vermittels einer zur Seite der Bahn feststehenden Dampfmaschine ausgepumpt oder vielmehr verdünnt wird, wodurch denn die Luft *hinter* dem Kolben, die *nicht* verdünnt ist, das Übergewicht bekommt und den Kolben und mittels desselben den vordersten Wagen und den an denselben angehängten Wagenzug forttreibt.

Da diese neue Art von Eisenbahnen, in die Augen springend, die grofsen Vortheile hat, dafs man, *erstlich,* wenn man die Triebröhre grofs genug macht, eine beliebig stärkere Triebkraft hervorbringen kann, als Dampfwagen füglich haben können, so dafs sich so auch *steilere* Stellen einer Eisenbahn ohne Schwierigkeit ersteigen lassen; *zweitens,* dafs hier keine Dampfwagen und Tender mit wegzuführen sind und also an der fortzuschaffenden Fracht gewonnen wird; *drittens,* dafs die *Feuersgefahr* für die Passagiere und die zu transportirenden Güter nicht Statt findet, und *viertens,* dafs die feststehenden Dampfmaschinen länger vorhalten, als die auf den Dampfwagen

mitfahrenden Maschinen: so hat die neue Erfindung *wohlverdienterweise* grofse Aufmerksamkeit erregt, welche noch dadurch gesteigert worden ist, dafs man auch hin und wieder vermuthet und selbst behauptet hat, die *Transportkosten*, wenn nicht gar die *Anlagekosten*, wären geringer als bei den Dampfwagen-Eisenbahnen.

Das letztere einstweilen dahingestellt, ist jedenfalls von dem neuen Princip, richtig angewendet, ein *sehr grofser* Nutzen zu *hoffen.* Denn die atmosphärischen Eisenbahnen, freilich vorausgesetzt, dafs die Probe bei Dublin hinreichend sei, zu beweisen, dafs dergleichen Eisenbahnen ohne Gefahr *überall* ausführbar sind, haben jedenfalls die vorhin aufgezählten vier Vortheile; und von diesen sind der erste und dritte sehr bedeutend. Kann man nemlich ohne die bisherigen kostbaren und gefährlichen Mittel auch steile Abhänge ersteigen, so sind erst jetzt Eisenbahnen *überall*, auch über Gebirge hinweg, und auch da, wo Dampfwagen-Eisenbahnen nicht ohne sehr grofse Kosten und Gefahr, oder gar nicht mehr möglich sind, practicabel; das Eisenbahnwesen hat also dann eine grofse Vervollkommnung erlangt und geht gleichsam erst jetzt der Vollendung entgegen. Nicht minder wichtig ist die Wegschaffung der Feuersgefahr für die Passagiere und Güter.

Es ist daher gewifs von sehr grofsem Interesse, von dieser neuen Erfindung nähere Kenntnifs zu nehmen; und zwar sind hier *technische* Kenntnisse, bis ins Detail, unumgänglich nothwendig. Insbesondere haben nemlich die atmosphärischen Eisenbahnen schon die eine *sehr grofse technische* Schwierigkeit, die Triebröhre, was sie nothwendig sein mufs, *luftdicht* zu machen und zu erhalten, während gleichwohl die Stange, mittels welcher der Triebkolben im *Innern* der Röhre mit dem vordern Wagen *aufserhalb* derselben in Verbindung zu bringen ist, nothwendig aus dem Innern der Röhre durch einen längsaus laufenden Schlitz in der Röhre hinaus ins Freie treten mufs. Diese sehr schwierige technische Aufgabe ist bei Dublin durch die Herren *Clegg* und *Samuda* auf eine, wie die Erfahrung zeigt, wenigstens *zulängliche* Weise gelöset worden, obgleich die Art der Lösung noch sehr unvollkommen sein dürfte. Es kommt immer noch mehr oder weniger auf diese technische Hauptschwierigkeit an. Sodann sind specielle *technische* Begriffe von der neuen Art von Eisenbahnen deshalb unumgänglich nöthig, damit man sich nicht über die *Kosten* täuschen möge: denn im Voraus darf wohl bemerkt werden, dafs allem Anschein nach eine atmosphärische Eisenbahn *auf einem für Dampfwagen eingerichteten Damm,* also in Fällen, wo auch eine Dampfwagen-

Eisenbahn ohne besondere Schwierigkeit möglich ist, durchaus nicht weniger, sondern vielmehr *bei weitem* mehr *zu bauen* kosten dürfte, als eine Bahn mit Dampfwagen; und auch die *Transportkosten* auf derselben sind in *solchem Falle* schwerlich geringer. Eine atmosphärische Eisenbahn dürfte wahrscheinlich nur dann weniger zu bauen kosten, wenn zu der Bahn für Dampfwagen des Terrains wegen *sehr theure* Erd-Arbeiten, Bahnbrücken etc. nöthig sein würden; die in solchem Fall für die atmosphärische Bahn auf das Gewöhnliche sich reduciren und wobei also die Ersparung die sonstigen Mehrkosten aufheben und mehr als aufheben kann. Die Transportkosten aber sind auch dann für *längere* Linien, wenigstens wenn man die Bahn *so* baut wie bei Dublin, schwerlich geringer. Immer bleiben indessen die oben aufgezählten Vortheile.

Es ist schon ungemein viel über die atmosphärischen Eisenbahnen geschrieben worden, und es fehlt auch nicht an Nachrichten darüber für Nichttechniker, die zum Theil wohl nur von Nichttechnikern herrühren; welche dann aber sehr leicht irre leiten können. Die nothwendigen *technischen* Begriffe geben nur Berichte von *Technikern.* Unter diesen scheinen mir insbesondere zunächst zwei wichtig: der erste, vielleicht von den Erbauern der Dubliner Bahn selbst, den Herren *Clegg* und *Samuda* veranlafst, in dem Civil-Engineer and Architects Journal: der zweite ein *officieller* Bericht des Herrn *Mallet,* Inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées, der von der Französischen Regierung damit beauftragt gewesen ist. Wir wollen daher zunächst diese beiden Berichte den Lesern dieses Journals hier mittheilen; und zwar in beiden, wie immer, Maafse, Gewicht und Geld auf Preufsische reducirt, ohne welche Reduction die Übertragung nicht vollständig, sondern vielmehr völlig unzulänglich sein würde. Der Bericht des Herrn *Mallet* erstreckt sich zugleich auf eine nähere vergleichende Berechnung der *Baukosten* und der *Transportkosten* nach dem neuen und nach dem alten System, so wie auf die *allgemeine* Anwendbarkeit des atmosphärischen Systems. Das was hierüber der Bericht sagt, hat viel Widerspruch gefunden; und in der That dürfte man fast gestehen müssen, dafs Herr *Mallet* eine gewisse *Vorliebe* für das neue System gefafst hat. Insbesondere hat Herr *Petiet,* ein einsichtiger und *practischer* Ingenieur, der auch die Benutzung einer der beiden Eisenbahnen zwischen Paris und Versailles längere Zeit speciell geleitet hat und also schon dadurch mit dem Eisenbahnwesen practisch sehr bekannt geworden sein mufs, erhebliche Einwendungen gegen die Aufstellungen des Herrn *Mallet* gemacht. Sie finden sich

1 *

in dem Französischen Journal des chemins de fer, welches den ***Mallet*schen** Bericht aufgenommen hat. Wir geben sie, jede an ihren Ort beigefügt; und es wird interessant sein, zu sehen, wie weit selbst gleich sachverständige Männer in ihren Ansichten und Berechnungen von einander abweichen können.

So wie in Frankreich das atmosphärische Eisenbahnsystem viel Aufmerksamkeit und auch die der Regierung erregt hat, so ist das Gleiche natürlich nicht minder in England geschehen, und es ist gar viel darüber geschrieben und gestritten worden. Unter andern hat bei Gelegenheit einer neuen Eisenbahn zwischen London und Epsom, die man nach dem atmosphärischen Prinzip zu bauen gedenkt, die Regierung nach der dortigen Gewohnheit durch eine Commission die Meinungen und die Berichte über die Erfahrungen der vorzüglichsten practischen Eisenbahnbaumeister über den Gegenstand einverlangt, und auch der berühmte Ingenieur ***Stephenson*** hat über die Eisenbahn bei Dublin einen ausführlichen Bericht erstattet. Diese weitläuftigen, einen ziemlichen Quartband füllenden Verhandlungen sind von Herrn ***A. Lauvray*** ins Französische übersetzt und in dem Journal des chemins de fer, so wie, besonders zusammengestellt, unter dem Titel „Système atmosphérique. Enquète devant la commission de la chambre des communes pour le chemin de fer de Londres à Epsom etc. Paris 1844." erschienen. Da diese Schrift wie gesagt voluminös ist und die in derselben zum Theil herrschende Form von Frage und Antwort sie noch weitläuftiger macht und zugleich das Technische, worauf es uns hier ankommt, zerstückelt, so läfst sich füglich auch nicht einmal ein Auszug davon geben, sondern wir müssen Diejenigen, welche sich für den Gegenstand näher interessiren, darauf verweisen. Damit aber von den trefflichen einzelnen practischen Bemerkungen, die sich darin finden, für diejenigen Leser des gegenwärtigen Journals, die die Schrift nicht selbst lesen wollen, nichts Wesentliches verloren gehe, wird der Herausgeber nicht unterlassen, bei Dem, was er weiterhin über atmosphärische Eisenbahnen zu sagen haben wird, entweder mit ausdrücklicher Hinweisung, oder stillschweigend, darauf Rücksicht zu nehmen. Es ist durchaus nöthig, dafs man über einen Gegenstand, bei welchem das ***Technische*** eine ***Hauptsache*** ist, erst alle Äufserungen erfahrner Männer vom Fache höre, ehe man sich selbst ein Urtheil darüber bildet und, wenn es eine Wahl gilt, entscheidet.

Die Bahn bei Dublin ist die einzige bis jetzt wirklich ausgeführte und ihren Dienst thuende atmosphärische Eisenbahn. Wären die Umstände bei derselben einigermafsen alle die verschiedenen, welche bei Eisenbahnen vor-

kommen können, so wäre der dortige Erfolg allerdings so ziemlich entscheidend. Allein, weit entfernt davon, ist die Dubliner Bahn einestheils nur eine ganz kleine Strecke von nur 740 Ruthen, mithin noch nicht einmal eine einzelne Station lang: anderntheils kommen bei weitem nicht die verschiedenen Fälle bei derselben vor, welche überhaupt vorkommen können; denn die Bahn *steigt ununterbrochen,* und nur *bergauf* werden die Wagenzüge von dem *Luftdrucke* getrieben; *bergab* treibt sie lediglich die Kraft der *Schwere.* Die Bahn ist also noch nicht einmal in dem Falle, wo es gilt, einen Berg zu ersteigen oder zu *übersteigen:* weder *dann,* wenn der Abhang *nicht so stark* ist, dafs die Kraft der Schwere allein hinreicht, um die Wagenzüge bergab zu treiben, sondern auch noch für die Bergabfahrt entweder der Luftdruck oder eine andere Kraft zu Hülfe genommen werden mufs: noch dann, wenn der Abhang *so sehr stark und lang* ist, dafs man die Schwere nicht mehr mit ihrer vollen Kraft wirken lassen darf, sondern stärker hemmen mufs, als es bei Dublin nöthig ist; sei es auf die gewöhnliche Weise, oder durch den Luftdruck. Noch weniger giebt die Erfahrung bei Dublin darüber Auskunft, wie es sich mit einer atmosphärischen Eisenbahn verhalten würde, wenn sie der Terrainform wegen nothwendig *abwechselnd* bergauf und bergab steigen müfste; wie dies bei längern Linien gewöhnlich der Fall ist. Die Erfahruug bei Dublin ist also noch *auf keine Weise* hinreichend, um zu entscheiden, ob eine atmosphärische Eisenbahn, die Vortheile und Nachtheile gegen einander abgewogen, vor den bis jetzt gewöhnlichen Constructionen wirklich den Vorzug habe: nicht einmal beim Übersteigen von Bergen, in Fällen, die dem bei Dublin nicht hinreichend ähnlich sind, noch weniger für längere Linien; und man würde sich gar sehr übereilen, wenn man *für* oder *gegen* das atmosphärische Eisenbahnsystem in jedem vorkommenden Falle schon jetzt absprechen und wohl gar schon im Voraus die Kosten und den Ertrag berechnen wollte. Das letzteres gewifs der Fall sei, davon geben die einander gradezu widersprechenden Rechnungs-Resultate der Herren *Mallet* und *Petiet* den Beweis. Die Französische Regierung hat, wie auch aus den Zeitungen bekannt, die namhafte Summe von 480 Tausend Thalern aus Staatscassen zu einer *Beihülfe* bestimmt, um eine atmosphärische Eisenbahn in längerer Ausdehnung und unter verschiedeneren Terrain-Verhältnissen zu erbauen; wovon das Resultat zu erwarten ist. Bis jetzt kann und darf man mit *Sicherheit* nur nach dem Vorhandenen urtheilen.

Dem gegenwärtigen Artikel wird der Herausgeber noch einige Nachrichten, so gut sie zu haben sind, von verschiedenen Vorschlägen anschliefsen,

die theils zur noch besseren Benutzung des Luftdrucks als bewegende Kraft auf Eisenbahnen, theils zu noch andern Arten, als durch Dampfkraft, die Wagen auf Eisenbahnen fortzutreiben, gemacht worden sind.

Eigene, weiter eingehende Bemerkungen über den Gegenstand wird der Herausgeber diesem Artikel nicht beifügen, sondern dieselben einem folgenden besondern Aufsatze vorbehalten; der dann gleichsam einen *zweiten Theil* zu dem gegenwärtigen bilden wird. In diesem zweiten Aufsatze wird der Herausgeber versuchen, den Gegenstand in *weiterem Umfange,* nemlich die Frage, wie überhaupt und wie am vortheilhaftesten die Spannung der Luft, sei es durch *Verdünnung,* oder durch *Zusammenpressung,* als bewegende Kraft auf Eisenbahnen sich dürfte benutzen lassen, theoretisch und practisch zu untersuchen. Er wird dabei Alles an Erfahrungen zu Hülfe nehmen und berücksichtigen, was sich ihm darbietet. Die theoretischen Gesetze aber, nemlich die unwandelbaren Prinzipien der Physik, müssen nothwendig, um von bisherigen Erfahrungen und auf den Grund derselben zu neuen, noch bevorstehenden Dingen zu gelangen, ebenfalls zu Hülfe genommen werden.

Zuerst zu dem Vorhandenen.

Cleggs und Samuda's atmosphärische Eisenbahn.

(Aus „The civil Engineer- and Architects-Journal." Tom. 3. 1840. S. 259 etc.)

---

1. Bei der Eisenbahn der Herren *Clegg* und *Samuda* ist der Druck der atmosphärischen Luft die bewegende Kraft. Die Luft wird durch Auspumpen zur Wirksamkeit gebracht. Die hier beigefügten Figuren werden die folgende Beschreibung erläutern.

Fig 1. ist die äufsere Ansicht der Eisenbahn, mit einem darüber hingehenden Wagenzuge.

Fig. 2. ist der Grundrifs der Eisenbahn, mit der obern Fläche der Triebröhre, an dem Ende derselben, wo sich das Eintrittsventil befindet, welches weggenommen gezeichnet ist, um die Construction sichtbar zu machen.

Fig. 3. ist ein Längs-Durchschnitt der Eisenbahn nach der punctirten Linie *mm* Fig. 4. Er zeigt die Verbindung zwischen dem Kolben und dem Wagenzuge; so wie die Art, wie das continuirlich fortlaufende Ventil gehoben wird.

Fig. 4. ist der Querschnitt des Nemlichen.

Fig. 5. ist ein Querschnitt der Triebröhre nach einem gröfsern Maafsstabe. Er zeigt das fortlaufende Ventil und die Decke desselben, nebst dem Heizer *N*, letztern durch punctirte Linien.

Fig. 6. ist der Grundrifs des fortlaufenden Ventils nach gröfserem Maafsstabe. [Diese Figur fehlt auf der Tafel des Originals D. H.]

2. Die bewegende Kraft wird dem Wagenzuge durch eine fortlaufende Röhre *A* mitgetheilt, welche zwischen den Bahnschienen liegt. Aus dieser Röhre wird die Luft durch stehende Dampfmaschinen ausgepumpt, die zur Seite der Eisenbahn, 400 bis 1200 Ruthen, je nach der Lage der Bahn und der Frequenz auf derselben, von einander entfernt aufgestellt sind. Ein Kolben *B*, welcher in die Röhre gebracht ist, wird mit dem vordern, den Zug führenden Wagen durch einen längsaus laufenden Schlitz in der Röhre hindurch in Verbindung gebracht und durch die Luft *hinter* dem Kolben fortgetrieben; denn die Luft *vor* demselben ist ausgepumpt. Die fortlaufende Röhre liegt zwischen den Schienen auf den Querhölzern unter denselben und ist auf diesen Querhölzern festgebolzt. Inwendig ist die Röhre *nicht ausgebohrt*, aber ein Zehntel Zoll dick mit Talg überzogen, um die innere Fläche auszugleichen und die unnöthige Reibung des Kolbens zu verhindern. Oben ist in der Röhre ein 2 Zoll breiter Schlitz, der von einem Ventil *C* (Fig. 5.) bedeckt wird, welches durch die ganze Länge der Bahn fortläuft. Das Ventil besteht aus einem Streifen Leder, welcher, wie in Fig. 5. zu sehen, zwischen eisernen Platten festgeniethet ist. Die obern Platten sind breiter als der Schlitz und werden von der äufsern Luft, wenn diejenige in der Röhre ausgepumpt ist, auf das Leder *angedrückt*. Die untern Platten verschliefsen den Schlitz, wenn das Ventil heruntergelassen ist, ergänzen die Cylinderfläche der Röhre, und hindern die Luft, in die Röhre zu dringen. Die eine Seite der ledernen Klappe wird durch eiserne Stangen 2 (Fig. 5.) niedergedrückt, welche durch die Schraubenbolzen 4 an einer längsaus laufenden Rippe der Röhre festgehalten werden. Das Leder zwischen den eisernen Tafeln läfst sich auf diese Weise hinaufbiegen, wie bei einem gewöhnlichen Pumpenventil. Die andere Seite der fortlaufenden Klappe fällt in einen Raum, der mit einer Zusammensetzung aus Wachs (beeswax) und Talg gefüllt ist. Diese Mischung ist in der Temperatur der Atmosphäre fest und wird, um einige Grade mehr erwärmt, flüssig. [Aber die Temperatur der Atmosphäre ist sehr verschieden. D. H.] Über dem fortlaufenden Ventil befindet sich eine, dasselbe gegen den Schnee und

Regen beschützende Decke 1. Dieselbe besteht aus 5 F. langen, dünnen eisernen Tafeln, durch Leder angehängt. Das Ende jeder Tafel greift unter das Ende der ihr in der Richtung der Bewegung des Kolbens folgenden nächsten Tafel, damit so die Tafeln der Decke um so sicherer eine nach der andern aufgehoben werden mögen. Unter dem vordersten Wagen im Zuge befindet sich der Kolben *B*, mit Zubehör. An einer horizontalen Stange, die vom Kolben ausgeht, ist, 6 Fufs hinter demselben, ein aufrechter Arm *C* (Fig. 3.) befestigt. Dieser Arm reicht durch den fortlaufenden Schlitz der Röhre hindurch, ist an den Wagen befestigt und theilt demselben, so wie dem ihm folgenden Wagenzuge, seine Bewegung mit, sobald Luft aus der Röhre gepumpt ist. An der Kolbenstange befinden sich zwei stählerne Rollen *H*, *H*, ..., zwei vor und zwei hinter dem aufrechten Arm *C*. Sie dienen, die fortlaufende Klappe aufzuheben, um dem aufrechten Arme Raum zum Durchgang zu verschaffen; so wie, der Luft Zutritt hinter den Kolben zu geben. Eine andere stählerne Rolle *D* (rechts in Fig. 3.) ist an den Wagen befestigt und wird von einer Feder angedrückt, um dadurch die Klappe, indem sie auf der obern Platte der Klappe hinter dem Arm *C* sich herbewegt, wieder fest zu verschliefsen. Eine kupferne Röhre *N* (Fig. 5.), der Heizer, von etwa 5 Fufs lang, die beständig durch ein kleines Feuerstübchen *Z* (Fig. 4.) heifs erhalten wird, und die ebenfalls unter dem Wagen befestigt ist, streift über die Mischung aus Wachs und Talg hin und schmilzt die von dem Ventil durchbrochene Oberfläche derselben, welche dann, nachdem sie wieder abgekühlt ist, die Klappe hermetisch verschliefst. So setzt jeder Wagenzug sogleich wieder die Röhre für den nächsten Zug in Stand.

3. Die fortlaufende Triebröhre wird durch besondere Ventile *f* und *Q* Fig. 2. in Theile getheilt, deren Länge sich nach der Entfernung der neben der Bahn stehenden Maschinen von einander richtet. Diese Ventile öffnet der Wagenzug selbst, so wie er sich fortbewegt. Sie sind so eingerichtet, dafs sie beim Übergange von einer Röhrenstrecke in die andere keinen Aufenthalt und keine Verminderung der Geschwindigkeit veranlassen. Das Ausgangsventil *Q* am Ende der Strecke, zunächst der stehenden Maschine, wird durch die ***Zusammenpressung der Luft*** vor dem Kolben geöffnet; welche nothwendig erfolgt, so wie derselbe den mit der Luftpumpe im Zusammenhange stehenden Röhren-Arm passirt ist. Das Eingangsventil *f*, am Anfange der nächsten Röhrenstrecke, ist ein Waage- oder Balancierventil, welches sich sofort öffnet, wie der Kolben in die Röhre eingetreten ist. Die Hauptröhre ist

vermittels tief ausgehöhlter Stöfse zusammengesetzt, in deren jedem ein ringförmiger Raum in der Mitte der Dichtung sich befindet, der mit einer halbflüssigen Masse gefüllt ist. So wird jedes Eindringen der Luft in die Röhre verhindert.

4. Auf den Grund der bisherigen Versuche rechnen die Erfinder, dafs, wenn die Luftröhre 17½ Zoll im Durchmesser hat, täglich gegen 100 Tausend Centner, nemlich 50 Tausend Centner hin und eben so viel zurück, fortgeschafft werden können; die Steigung der Bahn im Durchschnitt 1 auf 100 angenommen.

5. Anmerkung. Eine Röhre von 17½ Zoll im Durchmesser hat 240½ Q. Z. Querschnitt. Der gewöhnliche, durch die Ausschöpfung der Luft hervorgebrachte Druck auf den Kolben sei 8 Pfd. auf den Quadratzoll. Dieses ist der vortheilhafteste Druck rücksichtlich des Ausschöpfens, und es bleibt noch viel übrig bis zur Luftleere [welche etwa 15 Pfd. Druck auf den Quadratzoll geben würde. D. H.], um im Nothfall schwerere Wagenzüge fortzubewegen. Es ist also 8.240½ = 1924 Pfd. Druck vorhanden, mit welchem ein Wagenzug von 887 Ctr. 6½ Meilen in der Stunde auf einem Abhange von 1 auf 100 fortgeschafft werden kann. [Der 100te Theil von 887 Ctr. für das Ersteigen des Abhanges von 1 auf 100 beträgt 976 Pfd. Dieselben von 1924 Pfd. abgezogen, lassen 848 Pfd. Kraft für die Überwindung der Reibung und der andern Hindernisse; was den 115ten Theil der Last ausmacht und also sehr reichlich gerechnet ist. D. H.] 1068 Ruthen Röhre enthalten 21 360 C. F. Luft und 8 Funfzehntheile davon betragen 11 392 C. F., welche ausgepumpt werden müssen, um einen Druck von 8 Pfd. auf den Quadratzoll hervorzubringen. Die Luftpumpe mufs zu dem Ende 65 Zoll im Durchmesser, also 23,29 Q. F. Querschnitt haben. Der Kolben mufs 213,6 F. in der Minute durchlaufen, so dafs die Pumpe 23,29.213,6 = 4977 C. F. und wenn die Luft bis 8 Pfd. Druck auf den Quadratzoll gebracht ist, 2323 C. F., folglich im Durchschnitt 3650 C. F. ausschöpft, mithin, um die 11 392 C. F. Luft auszupumpen, $\frac{11\,392}{3650} = 3{,}1$ Minuten Zeit braucht. Nun ist der Querschnitt der Luftpumpe 14mal so grofs als der der Röhre: also wird sich die Luft in der Röhre 14mal so geschwind bewegen als in der Luftpumpe, mithin 213,6.14 = 2990 F. in der Minute oder 14 950 Ruthen oder etwa 7½ Meile weit in der Stunde. Wegen der Unvollkommenheit der Wirkung der Luftpumpe, wegen einiges Entweichens von Luft u. s. w. dürfte sich aber diese Geschwindigkeit auf 12 820 R. oder etwa 6½ Meile in der Stunde vermindern, und die Zeit zum Auspumpen der Luft aus der Röhre dürfte also bis auf 4 Minuten zunehmen. Demnach wird

sich der Wagenzug durch die 1068 Ruthen lange Bahnstrecke in $\frac{1068}{12\,820}$ Stunden oder etwa 5 Minuten bewegen. In den folgenden 4 Minuten kann die Luftröhre wieder für den nächsten Wagenzug vorbereitet werden; thut zusammen 9 Minuten. Also sind 15 Minuten Zeit zwischen zwei Wagenzügen vollkommen hinreichend; und wenn täglich 14 Stunden lang gefahren wird, so können in diesen 14 Stunden 56 Wagenzüge hin- und zurück fortgeschafft werden, also 2.56.887, thut nahe an 100 Tausend Centner täglich. Die hiezu nöthige Dampfmaschine bedarf 110 Pferde Kraft für die 1068 Ruthen Bahn, thut 206 Pferde Kraft auf die *Meile*. [Warum nach dieser Berechnung die Geschwindigkeit, mit welcher der Wagenzug von der Luft fortgetrieben wird, zu der Geschwindigkeit des Kolbens der Luftpumpe umgekehrt wie der Querschnitt der Triebröhre zu dem des Pumpenstiefels sich verhalten soll, ist nicht gut einzusehen. Wenn die Pumpe erst zu schöpfen anfängt, ist noch fast gar keine Triebkraft vorhanden, und der Wagenzug steht also still. Er fängt erst an, sich zu bewegen, nachdem der durch das Auspumpen der Luft hervorgebrachte Druck der äufsern Luft auf den Luftröhrenkolben über den Widerstand des Wagenzuges das *Uebergewicht* erlangt hat; und dann hängt weiter die Geschwindigkeit der Bewegung der Wagen von dem Abhange der Bahn, von dem etwa nöthigen Hemmen u. s. w. ab. Diese Geschwindigkeit ist also weit entfernt, zu der Geschwindigkeit des Kolbens der Luftpumpe ohne Weiteres in einem *directem* Verhältnifs zu stehen. D. H.]

6. Es kommt weiter auf eine vergleichende Berechnung der *Kosten* der beiden Arten von Eisenbahnen an.

Die Nothwendigkeit, dafs eine Eisenbahn für *Dampfwagen* möglichst horizontal liege, verursacht meistens ungeheure Ausgaben für Erd-Arbeiten, Brücken und Tunnels; so wie auch für die mehrere Landfläche, die entweder zu der Verlängerung der Linie, um am Damm zu sparen, oder zu den Böschungen der Aufschüttungen und Einschnitte nöthig ist. Zu einem 30 F. tiefen Einschnitte oder 30 F. hohen Damm sind wenigstens 60 F. breit Land an jeder Seite zu den Böschungen nöthig, damit die Böschungen flach genug werden: thut 5 Ruthen breit Land, wenn nicht etwa der Boden Felsen ist. Die hier folgende vergleichende Berechnung ist auf die Erfahrung bei Chausséen (turnpike roads) und Eisenbahnen gegründet; und zwar auf die Rechnungs-Ablegung der verschiedenen Gesellschaften, deren Eisenbahnen in gutem Stande sind.

A. An ***Baukosten*** einer Eisenbahn ***für Dampfwagen*** ist nach dem Maafsstabe der 5 vorzüglichsten Eisenbahnen [in England], deren Kosten die Vorausbe-

rechnung überstiegen haben, auf die (Preufsische) Meile zu rechnen 1 124 160 Thlr.
Für die Dampfwagen auf die Meile . . . . 49 964 –

Thut zusammen auf die (Preufsische) Meile 1 174 124 Thlr.

[Es ist hier nicht etwa bei dieser *ungeheuern* Summe ein Rechnungsfehler in der Reduction. Im Original steht 37 600 Pfd. Sterling für die Englische Meile, was zu 6 Thlr. 20 Sgr. das Pfd. St. 250 667 Thlr. und da 4,684 Engl. Meilen auf eine Preufsische gehen, die obige Summe giebt. D. H.]

Die Kosten einer *atmosphärischen Eisenbahn* würden folgende sein.

Die Chausséen in England haben im Durchschnitt 93 680 Thlr. die Preufsische Meile gekostet (3000 Pfd. St. die Englische Meile). Für den Damm der atmosphärischen Eisenbahn wollen wir ansetzen . . . . . 124 907 Thlr.

Für Brücken noch aufserdem . . . . 62 458 –

Für Schienen, Schienenstühle, Unterlagehölzer und Legungskosten derselben . . . . 78 063 –

Für die Triebröhre, mit allem Zubehör, und zwar zu einer Bahn, auf welcher 7200 Ctr. in der Stunde und 100 000 Ctr. täglich in 14 Arbeitsstunden auf einem Abhange von 1 auf 100 fortzuschaffen sind, ... 162 380 –

Für die stehenden Maschinen, Luftpumpen und Maschinengebäude . . . . 43 718 –

Für die Luftkolben . . . . 624 –

Thut zusammen auf die Meile 472 150 Thlr.

also gegen obige . . . . 1 174 124 –

weniger 701 974 Thlr.

[Wenn nur nicht die wirklichen Kosten die voraus berechneten ebenfalls wieder übersteigen werden. D. H.]

B. Die jährlichen Kosten der *Erhaltung* der Bahn und der Fortschaffung von 40 000 Ctr. täglich, was mehr ist, als zwischen Liverpool und Manchester transportirt wird, sind wie folgt anzuschlagen.

Auf einer Bahn *für Dampfwagen.*

5 pr. C. Zinsen und Amortisation des Capitals von 1 174 124 Thlr. Baukosten . . . . 58 706 Thlr.

Erhaltungskosten der Bahn . . . . 14 052 –

Dampfwagen, Brennstoff etc. . . . . 56 208 –

Thut zusammen 128 966 Thlr.

Auf einer *atmosphärischen* Eisenbahn.

5 pr. C. Zinsen und Amortisation des Capitals von 472 150 Thlr.	23 607 Thlr.
Erhaltung und Bedienung der Bahn	9 368 –
Abnutzung der stehenden Maschinen, 5 pr. C. ihrer Kosten,	2 186 –
20 047 Ctr. Kohlen, zu 10 Sgr., ...	6 649 –
Gehalt der Maschinisten und Feuerschürer	1 874 –
Gehalt der Wagenzugführer	812 –
Erneuerung des Luftkolben-Apparats; Schmiere etc. . .	6 245 –
Thut zusammen	50 741 Thlr.
Also gegen obige	128 966 –
Jährlich weniger auf die Meile	78 225 Thlr.

Der Centner 1 Meile weit zu transportiren kostet, den obigen Beträgen gemäfs:

Auf der Dampfwagen-Bahn . . . . . . 3,606 Spf.,

Auf der atmosphärischen Bahn . . . . . 1,405 Spf.,

mit Ausschlufs der Kosten der Fahrzeuge und der Verwaltung, die auf beiden Arten von Bahnen dieselben sein mögen.

7. Aus der obigen Beschreibung und aus den Berechnungen der Erfinder der atmosphärischen Eisenbahn, so wie aus dem Erfolge der im letzten Monat fast täglich wiederholten Versuche wird der Leser im Stande sein, über die Wahrscheinlichkeit der allgemeinen Einführung des atmosphärischen Systems zu urtheilen. Wir unsererseits wünschen angelegentlich, dafs den Erfindern eine reichliche Vergeltung der grofsen Kosten und Arbeiten zu Theil werden möge, welche sie an ihren ersten Versuchen gewendet haben. Diese Versuche haben sie mit grofser Einsicht angestellt.

[Wie unzuverlässig die obige Berechnung der Wirkungen des atmosphärischen Systems und auch die der Anlage- und Betriebskosten desselben sei, braucht wohl nicht erst bemerkt zu werden. Es fehlt noch *sehr* viel, um den Leser in Stand zu setzen, zu urtheilen, ob die allgemeine Einführung der atmosphärischen Eisenbahnen statt der Dampfwagenbahnen rathsam sei, oder nicht. D. H.]

Bericht über die atmosphärische Eisenbahn zwischen Kingstown und Dalkey in Irland und über die allgemeine Anwendung des atmosphärischen Systems. Erstattet von Herrn Mallet, Inspecteur divisionnaire des ponts et chaussées.

Nebst den Bemerkungen dazu des Herrn Petiet, Ingenieurs der Eisenbahn zwischen Paris und Versailles auf dem rechten Ufer der Seine.

(Die Bemerkungen des Herrn *Petiet* sind in *runde* Klammern geschlossen und jede ist bei ihrem *Anfange* mit *P.* bezeichnet. Die Anmerkungen des Herausgebers des gegenwärtigen Journals sind, wie gewöhnlich, in *eckige* Klammern eingeschlossen und jede ist an ihrem *Ende* mit D. H. bezeichnet.

8. In der jetzigen Zeit der Vervollkommnung alles Dessen, was materiellen Gewinn bringt und wobei diese oder jene physicalischen Kenntnisse dienlich sind, war es sehr natürlich, auch an die Benutzung des *Drucks der Luft* zu denken. Die Idee, eine Röhre auszupumpen und einen Kolben in derselben von der äufsern Luft forttreiben zu lassen, müssen gewifs Viele gehabt haben; aber zwischen der ersten Idee und der practischen und nützlichen Ausführung liegt viel. An Planen zur Ausführung uud auch an Versuchen, hat es nicht gefehlt.

9. Ehe man auf Das sieht, was in diesem Punct in dem jetzigen Jahrhundert und besonders in der neusten Zeit geschahe, wird es gut sein, sich an *Papin* zu erinnern, welcher zuerst vorschlug, einen Cylinder auszupumpen, um auf weite Entfernungen hin zu wirken.

Im Jahr 1810 schlug der Dänische Ingenieur *Medhurst* vor, Briefe und Waaren in einen 6 Fufs hohen und 5 Fufs breiten Canal, in welchem sich eine Stein- oder Eisenbahn befinden sollte, durch den Druck der Luft fortzuschaffen. Im Jahr 1824 trieb Herr *Vallance* diesen Vorschlag noch weiter. Er wollte den Kolben, die Wagen und die Reisenden in einen weiten Tunnel einschliefsen. Aber die Versuche, welche er anstellte, hatten keinen genugthuenden Erfolg. Der nemliche Herr *Medhurst* sah bald ein, dafs auf eine solche Weise die Lösung der Aufgabe nicht geschehen könne, und er war es, der zuerst vorschlug, die Luftröhre nur klein zu machen und den Kolben in derselben den Druck der Luft auf ihn durch einen längsaus laufenden Schlitz in der Röhre nach aufsen hin mittheilen zu lassen. Er verschlofs diesen

Schlitz durch eine hydraulische Vorrichtung, welche er Wasserventil nannte. Wie es scheint, mifslang der Versuch, den er damit machte. Im Jahr 1834 brachte Herr ***Pinkus*** ein Seil an die Stelle des Wasserventils; aber ohne bessern Erfolg. Die Herren ***Clegg*** und ***Samuda*** waren glücklicher. Sie verschlossen den Schlitz der Luftröhre mit einem Streifen Leder, der an der einen Seite fest war, durch Rollen an der Kolbenstange gehoben wurde, und vermöge seines Gewichts wieder zurückfiel. Die Fuge wurde mit einer Mischung von Wachs und Talg hermetisch verschlossen. Im Jahre 1838 wurden durch Herrn ***James Bonfil*** Versuche mit dieser Vorrichtung zu ***Chaillot*** angestellt. Sie hatten gröfsere und entscheidendere Versuche zu Wormwood-Scrubbs bei London zur Folge. Herr ***Teisserenc*** hat über diese Versuche berichtet. Zu gleicher Zeit führte Herr ***Bonfil*** im Havre eine gleiche Vorrichtung aus, die in den Werkstätten des Herrn ***Nilhus*** in Wirksamkeit war.

10. Bewogen durch diese Ergebnisse und der Meinung, dafs das neue System ausgedehntere Erfolge haben dürfte, schlug Herr ***Pim,*** Cassirer der Gesellschaft der Eisenbahn zwischen Dublin und Kingstown, vor, dasselbe zu der Fortsetzung dieser Bahn von ***Kingstown*** bis ***Dalkey*** anzuwenden. Er legte darüber der Regierung einen Aufsatz vor und erhielt für seine Gesellschaft ein Anlehen von 166 666 Thlr. 20 Sgr. Das Gerücht von den Erfolgen dieses zweiten Versuchs, in weit gröfserem Maafsstabe als der zu Wormwood-Scubbs, verbreitete sich in Frankreich. Bald darauf trugen Herr ***Teste,*** Minister des öffentlichen Bauwesens, und Herr ***Legrand,*** Unterstaatssecretair für das Bauwesen, deren Aufmerksamkeit durch den Bericht des Herrn ***Teisserenc*** auf diesen Gegenstand gelenkt worden war, und die nun jene Vervollkommnung näher kennen zu lernen wünschten, welche auf die Angelegenheit der Französischen Eisenbahnen möglicherweise einen wesentlichen Einflufs haben könnten, mir auf, nach Irland zu reisen. Die Ergebnisse dieser Reise sind es, von welchen ich hier Bericht erstatten werde. Ich werde diesem Berichte Bemerkungen über die allgemeine Anwendung des atmosphärischen Eisenbahnsystems beifügen.

11. Mein Bericht wird vier Abschnitte haben.

In dem ***ersten*** Abschnitt werde ich die ***Beschreibung*** der Eisenbahn von ***Kingstown*** nach ***Dalkey*** geben; so wie die der dortigen Bewegungs-Vorrichtung und der Versuche, welche ich angestellt habe.

Der ***zweite*** Abschnitt wird die Bemerkungen über die ***allgemeine Anwendung*** des atmosphärischen Systems enthalten.

Der *dritte* wird eine Vergleichung der *Anlagekosten* einer Eisenbahn für Dampfwagen mit denen einer atmosphärischen Bahn geben.

Der *vierte* Abschnitt wird die Vergleichung der Kosten der *Benutzung* der einen und der andern Art von Eisenbahnen enthalten.

Erster Abschnitt.

Beschreibung der Eisenbahn zwischen Kingstown und Dalkey und der dortigen Bewegungs-Vorrichtung; nebst den Ergebnissen der auf dieser Bahn angestellten Versuche.

12. Die Eisenbahn zwischen *Kingstown* und *Dalkey* ist, wie schon gesagt, die Fortsetzung derjenigen zwischen *Dublin* und *Kingstown*. Diese letztere ist etwa 2788 Ruthen lang und es fahren darauf etwa 4500 Menschen täglich [also über 1½ Millionen jährlich. D. H.]. Diese Bahn ist von der gewöhnlichen Art.

Die Vereinigung derselben mit ihrer Fortsetzung findet etwa 53 Ruthen jenseits der Station von Kingstown Statt (Man sehe Taf. IV. Fig. 1. und 2.). Die atmosphärische Eisenbahn wendet sich rechts unter einem Winkel von etwa 7 Graden ab. Sie hat an ihrem Anfange zwei Krümmungen in entgegengesetzter Richtung und geht darauf bis auf 217 Ruthen geradlinig fort. Dann kommt ein Bogen von nicht weniger als 70 Graden am Mittelpunct und 47 Ruthen Halbmesser. Durch diesen Bogen biegt sich die Eisenbahn schroff rechts. Dem Bogen folgt unmittelbar eine Biegung in entgegengesetzter Richtung, weil hier ein Haus nicht wegzuschaffen war; denn die Gesellschaft für die atmosphärische Eisenbahn hatte nicht die Expropriations-Berechtigung. Auf diese Biegung folgt wieder eine entgegengesetzte, aber wenig bemerkliche, durch einen Kreisbogen von 46 Ruthen Halbmesser. Hierauf folgt eine sanftere Krümmung und ein neuer Kreisbogen von 65 Ruthen Halbmesser und etwa 60 Grad am Mittelpunct, der die Bahn links lenkt. Dann folgt eine 170 Ruthen lange gerade Linie: die längste der ganzen Bahn. Es folgen ferner zwei wenig merkliche Krümmungen, in einander entgegengesetzter Richtung; und dann folgt eine gerade Linie bis zu Ende. ***Die gesammte atmosphärische Eisenbahn ist 740 Ruthen lang.***

Die Erbauer hatten, wie gesagt, nicht das Expropriationsrecht. Sie haben mit den Unternehmern des Hafens von Kingstown unterhandelt, welche ihnen die Hälfte der Strafse abgetreten haben, auf welcher sie die bei Dalkey

brechenden Granitblöcke transportiren. Aus diesem Grunde hat die Bahn so viele Biegungen.

13. Von der Plateform am Anfange der Bahn fährt man 70 Ruthen lang einen Abhang von 1 auf 227 *hinab* (Fig. 3.). Von da *steigt die Bahn fortwährend bis Dalkey;* und zwar zusammen 68,8 F. hoch. Aber das Gefälle der Bahn, welches auf [740 weniger 70, also] 670 Ruthen Länge 1 auf 116 durchschnittlich betragen würde, ist sehr ungleich. Es beträgt auf 148 R. lang; 1 auf 106; dann auf 41 R. lang 1 auf 218. Hierauf beträgt es 1 auf 104, 1 auf 139, 1 auf 100, 1 auf 132. Dann wieder auf 26 R. lang 1 auf 213 und auf 187 R. lang 1 auf 115; für die 87 noch übrigen Ruthen der Bahn sogar 1 auf 57.

Die Bahn läuft an ihrem Anfange durch einen 291 Fufs langen Tunnel und hierauf zwischen zwei senkrechten Mauern fort, welche nur 11 F. 8 Z. von einander entfernt sind und die fast auf die ganze Länge die Eisenbahn einschliefsen. Die unterbrochenen Verbindungswege werden durch 12 Brücken hergestellt.

14. Die Bahn hat ein gewöhnliches Schienenpaar. Die Schienen sind auf Längshölzer befestigt, welche von Querhölzern getragen werden. In den Krümmen hat man an der innern Seite Gegenschienen gelegt, damit die Wagen nicht aus der Spur kommen können.

15. In der Mitte der Bahn liegt eine 14½ Zoll weite Röhre, welche von 26 zu 26 Zoll halbmondförmige, unten 7 Zoll breite Verstärkungen hat. Diese Verstärkungen verlaufen sich nach oben gegen die längsausgehenden Reifen der Röhre (7.). Die Dicke der Verstärkungen ist 8 Linien. Die Röhrenwände sind oben 7½, unten 8½ Linien dick. Diese Anordnung bezweckt, die Röhre gegen den Druck der Luft zu festigen, der die Ränder des Schlitzes zusammenzutreiben strebt. Die Röhre ist auf Querhölzer nach Fig. 7. befestigt.

Die Röhrenstücke sind 8 F. 9 Zoll lang und jedes tritt in das folgende 5 Zoll tief hinein. Zwischen die umfassende Röhre und das Ende der hineintretenden ist ein Raum, den man mit einer Mischung von Wachs und Öl gefüllt hat. Diese Mischung wird durch Hede festgehalten, die in Theer getaucht und durch Schläge mit hölzernen Hämmern, von dem Ende der Muffe und seitwärts längs des Schlitzes für die fortlaufende Klappe, zusammengetrieben ist; denn auch die Zusammensetzung der Röhren mufs nothwendig für das Längsventil gespalten sein. Jedes Röhrenstück hat an seinem Ende einen Wulst.

Die Röhren sind *geschlossen* gegossen. Der Schlitz in denselben ist durch eine Hobelmaschine durchgeschnitten, welche auf 8 Röhrenstücke zugleich wirkte. Die Breite des Schlitzes beträgt 28⅓ Linie. Die längsauslaufende Klappe besteht hauptsächlich aus einem Streifen des besten Rindleders. Fig. 7. zeigt sie im Querschnitt. Sie ist oben und unten mit eisernen Tafeln bekleidet, und so breit, als die Klappe den Schlitz bedeckt, ist das Leder verdoppelt. Das untere dieser beiden Leder wird durch eine eiserne Tafel *p* (Fig. 6.) an seinem Ort festgehalten, die eiserne Tafel aber wiederum durch einen senkrecht und einen wagerecht wirkenden Bolzen. Der Kopf des ersteren stützt sich auf die Platte *p* und zugleich auf die an die Röhren angegossene Schiene *a*, und klemmt so den Rand des Leders der Klappe fest. Dieser Rand, über die Tafel hinausgehend, taucht sich in eine Mischung von Wachs und Talg. Der andere Rand der Klappe legt sich, niederfallend, in eine gleiche Mischung von Wachs und Talg an einen andern an die Röhre angegossenen Vorsprung *a'*. Die obere eiserne Verstärkung der Klappe ist 34 Linien breit und 3 Linien dick; die untere ist 27⅓ Linie breit und 2⅓ Linie dick; die beiden Leder sind 5⅓ Linien dick. Die gesammte Dicke der Klappe beträgt also $3 + 2\frac{1}{3} + 5\frac{1}{3} = 10\frac{2}{3}$ Linien oder etwa ⅞ Zoll.

16. Nachdem ich diesen Haupttheil der Vorrichtung beschrieben habe, werde ich sagen, wie die Bewegung vor sich geht. Die längsaus laufende Klappe wird durch Rollen, von ungleichen Durchmessern, welche sich in der Kolbenstange drehen, Fig. 4. und 5. aufgehoben; und zwar nicht ganz, sondern nur bis zu einem Winkel von etwa 45 Graden, welcher genügt, um den von dem vordern leitenden Wagen in die Triebröhre hineinreichenden Arm durchzulassen. Nachdem dieser Arm vorbeigegangen ist, fällt die Klappe durch ihr eignes Gewicht wieder zu und wird anfangs noch durch zwei andere Rollen *hinter* dem Arm unterstützt. Sobald die Klappe wieder an ihre Stelle gelangt ist, wird sie durch eine Rolle, die an den vordern leitenden Wagen *hinter* dem Kolben befestigt ist, stark angedrückt. Hinter dieser Rolle befindet sich ein Cylinder, mit glühenden Kohlen gefüllt, welcher bestimmt ist, die Mischung von Wachs und Talg flüssig zu machen. Ich komme weiter unten auf diesen Cylinder zurück. Fig. 8. giebt einen Begriff davon.

17. Ich werde jetzt die *Eingangsklappe* beschreiben. Sie ist ungefähr 30 F. vom Anfange der Röhre entfernt. Unter der Triebröhre befindet sich hier eine halbkreisförmige Erweiterung derselben, mit senkrechten Seitenwänden. *MN* (Fig. 11.) ist die Klappe, welche die Triebröhre luftdicht ver-

schliefst. *OP* ist eine andere Klappe vor der Erweiterung der Röhre. Die beiden Klappen sind mit einander verbunden und an eine gemeinschaftliche Axe befestigt; wie es Fig. 11. zeigt. Die Klappe *MN* hat 14½ Zoll im Durchmesser, die Klappe *OP* 15 Zoll. Die eine der beiden senkrechten Wände der Erweiterung hat zwei kleine Öffnungen *o* und *o'*, die eine an der einen, die andere an der andern Seite der Klappe *OP* und der Scheidewand, welche sie aufnimmt. Soll die Bewegung beginnen, so bringt man den Kolben in die Röhre *Y* und schöpft die Luft aus *X* aus. Die alsdann in *Y* einschlossene Luft hat dieselbe Spannung, wie die äufsere Luft. Ebenso die Luft in der Kammer *Z*, weil *o'* offen ist. Unter diesen Umständen bewegt sich noch nichts, weil die Klappe *OP* *gröfser* ist als die *MN* und also erstere letztere zudrückt. Selbst wenn die beiden Klappen gleich grofs wären, würde es sich, wie sich weiter unten zeigen wird, noch eben so verhalten. Nun schiebt man das Gleitventil *T* so, dafs *o'* der äufsern Luft verschlossen wird und *o* und *o'* mit einander in Verbindung kommen. Dadurch wird die Luft aus *Z* nach *X*, wo die Luft dünner ist, so zu sagen hingesogen, und die Luft in *X* und *Z* bekommt nun die *gleiche* Spannung. Also öffnet nunmehr die dichtere Luft in *Y* die Klappe *MN*, und die Klappe *OP* legt sich gegen die Scheidewand zwischen der Röhre und der Erweiterung. Die Luftröhre ist also nun offen, und der Kolben geht hindurch. Sobald solches geschehen ist, bringt ein Arbeiter die Klappe und das Schiebeventil wieder in ihre vorige Lage. (*P.* Diese Vorrichtung ist sinnreich, und man sieht wohl ein, dafs sich die Klappe mit Recht nach der Richtung der Bewegung des Kolbens öffnet.)

Weiterhin werde ich beschreiben, wie der Wagenzug selbst die Klappe der Luftröhre öffnet.

18. Die *Ausgangsklappe* ist sehr einfach. Sie besteht aus einem hölzernen mit Leder gefütterten Deckel. Das Gelenke derselben befindet sich an dem untern Theile der Röhre.

19. Die Triebröhre erstreckt sich nicht bis ans Ende der Bahn. Die Röhre ist nur 604 R. lang. Der Wagenzug mufs also 136 Ruthen Weges blofs durch die erlangte Bewegung durchlaufen. (*P.* Es ist seltsam, dafs man die Triebröhre gerade vor dem steilsten Abhange hat aufhören lassen. Unter Umständen kann ja die erlangte Geschwindigkeit unzureichend sein, um diesen Abhang noch hinaufzukommen.) In einiger Entfernung vom Ende theilt sich die Saugröhre. Sie hat eben dieselben Maafse, wie die Triebröhre. Man sieht sie aufserhalb der Schienenbahn am Fufse der Böschung des Dammes.

Sie läuft unter die Luftpumpe hinunter, die jenseits der Strafse steht, auf welcher man noch immer die Steine von Dalkey nach dem Hafen von Kingstown transportirt. Diese Röhre ist, wegen ihrer Länge von 120 Ruthen und ihres ansehnlichen Durchmessers, ein wahrer *Sammelbehälter* verdünnter Luft.

20. Die Luftpumpe wird vermittels einer Dampfmaschine mit Condensation, Absperrung und einfacher Wirkung von 100 Pferden Kraft in Bewegung gesetzt. Der Cylinder der Dampfmaschine hat $33\frac{1}{4}$ Zoll im Durchmesser, der Cylinder der Luftpumpe 65 Zoll. Der Hub der beiden Kolben beträgt 64 Zoll. In der Minute macht der Kolben 22 Schläge und der Druck beträgt $2\frac{2}{3}$ Atmosphären. In der Stunde werden $4\frac{5}{6}$ Pfund Kohlen auf jede Pferdekraft verbrannt [also 484 Pfd. in der Stunde. D. H.]. Diese Maschine ist augenscheinlich für diese Eisenbahn zu stark. Man ist der Meinung, dafs sie noch für ein 2564 R. lange Bahn ausreichend sein würde. Hier bedient man sich kaum der Hälfte ihrer Kraft.

21. Die 740 R. lange Bahn ist in Strecken von 10,68 Ruthen lang getheilt, und die Abtheilungen sind auf den Mauern, welche die Eisenbahn einschliefsen, durch schwarze Striche angezeichnet. Weiterhin, wo die Einschliefsungsmauern aufhören, sind die Theilungspuncte auf den Böschungen durch weifs angestrichene Pfähle bezeichnet. Die 740 R. lange Bahn hat 69 solcher Theile. Je der vierte Theilungspunct (die Strecke einer Viertel Englischen Meile) hat noch ein besonderes Zeichen.

22. An der Mauer des Luftpumpen-Gebäudes, nahe an dem Luftpumpen-Cylinder, ist ein Barometer befestigt, dessen oberer Theil mit der Saugeröhre in Verbindung gebracht ist. Ein anderer, unmittelbar hinter der Eingangsklappe mit der Triebröhre in Verbindung stehender Barometer befindet sich an der Futtermauer am Eingange des Tunnels; ein dritter auf dem vordersten Leitwagen. Dieser letztere steht vermittels einer gekrümmten Röhre, die durch den Verbindungs-Arm des Wagens und des Luftkolbens und durch den Luftkolben hindurchgeht, mit dem innern Raume der Triebröhre in Verbindung. Die Barometer, deren *oberen* Theile mit der Saugröhre und der Triebröhre in Verbindung stehen, zeigen so den Unterschied zwischen der Spannung der äufsern Luft und der in der Röhre an. [Nemlich die Spannung der äufsern Luft, welche hier die gröfsere ist, treibt das Quecksilber des Barometers auf seinen *höchsten* Punct, und der Raum *über* dem Quecksilber ist, wie bekannt, luftleer und hat folglich *gar keine* Gegenspannung. Wird nun dieser Raum *über* dem Quecksilber mit der verdünnten Luft in Verbin-

dung gebracht, so drückt diese Luft das Quecksilber *hinunter*. Dasselbe steht also an der Barometerröhre um so *niedriger*, je dichter noch die Luft in der Röhre ist, und steigt um so höher, je mehr sie verdünnt wird. D. H.]

23. Auf dem vordersten Leitwagen (Fig. 1.) befindet sich noch ein anderes Instrument. Ein Ingenieur nemlich hatte, als er die ungeheure Geschwindigkeit sahe, mit welcher der Wagenzug fortgetrieben werden konnte, und die, als man nicht hemmte, über 15 Meilen in der Stunde betragen zu haben scheint, dem Herrn *Samuda* die Bemerkung gemacht, dafs möglicherweise bei einer so grofsen Geschwindigkeit die äufsere Luft gar nicht schnell genug dem Kolben werde folgen können und man also nicht den Druck derselben vollständig gewinne. In Folge dieser Bemerkung liefs Herr *Samuda* an einer Seite des Wagens eine kleine Röhre anbringen, welcher hinter dem Kolben anfing und in der Richtung der Barometerröhre nach oben bis vor den Beobachter hin sich erstreckte. Die Röhre endigte in einen Heber, in welchen Quecksilber gegossen war. Einer der Arme des Hebers war offen. Wäre nun die obige Befürchtung gegründet gewesen, so würde das Quecksilber in dem letzten Arm tiefer gesunken sein, als es im andern stand. [Nemlich die äufsere Luft würde dann stärker auf das Quecksilber gedrückt haben, als die Spannung der Luft *hinter* dem Kolben, die, wenn die Luft dem Kolben nicht schnell genug hätte folgen können, geringer gewesen wäre, als die der ruhenden äufsern Luft. D. H.] Aber das geschah nicht. Das Quecksilber blieb in den beiden Armen des Hebers gleich hoch stehen. Die Bewegung des Wagens versetzte es sogar nicht einmal in Schwingungen; wie man hätte glauben sollen, dafs es geschehen müsse. Die Einwendung würde nicht gemacht worden sein, wenn der Ingenieur bedacht hätte, dafs sich die Luft mit einer Geschwindigkeit von 1274 F. in der Secunde in einen luftleeren Raum stürzt. [Auch ist es wohl deshalb natürlich, dafs das erfolgen mufste, was geschah, da es ja eben der Druck der Luft ist, der die Geschwindigkeit des Kolbens hervorbringt, und dafs also, so wie im geringsten die Spannung der Luft hinter dem Kolben abnimmt, auch die Geschwindigkeit desselben abnehmen mufs. D. H.]

Ich komme jetzt zu meinen Versuchen auf dieser Eisenbahn.

24. Ich begann dieselben am 12ten November bei schönem Wetter, nachdem ich am Sonntage vorher die Eisenbahn in allen ihren Theilen genau besichtigt hatte. Ich beschäftigte mich zuerst damit, zu ermitteln, bis zu welchem Grade die Luft in der Röhre *ausgeschöpft* werde. Die Ergebnisse der hierüber mit Unterstützung des Herrn *Jos. Samuda* gemachten Versuche finden

sich in der hier folgenden Tafel. Ehe man die Luftpumpe in Bewegung setzte, verschlofs man gehörig die Eintritts- und die Ausgangsklappe.

Tafel der Versuche über das Ausschöpfen der Luft. [Um die Brüche zu vermeiden, und da es *hier* nur mehr auf *Vergleichungen* ankommt, ist das Englische Maafs beibehalten. D. H.]

Höhe des Quecksilbers in Englischen Zollen.	Zeit, welche über das Steigen des Quecksilbers verlief, in Secunden.					
	Erster Versuch.	Zweiter Versuch.	Dritter Versuch.	Vierter Versuch.	Fünfter Versuch.	Durchschnitt.
1						
2						
3						
4						15
5	30	—	—	40	49	—
6		—	—			11
7	15	—	—			11
8	10	—	—			9
9	10	—	—			9
10	15	—	—			11
11	10	—	—	10	10	10
12	12	—	—	10	11	11
13	11	—	—	10	10	10
14	12	13	—	13	10	12
15	12	12	—	11	15	13
16	15	15	—	16	15	15
17	15	15	45	15	15	15
18	18	17	—	17	13	16
19	25	18	20	22	—	21
20	35	22	20	29	—	26
21	32	28	25	39	—	31
22	43	35	37	45	—	40
23	60	50	50	75	—	59
24	85	70	83	90	—	82
25	110	—	—	115	—	113

Die erste Spalte dieser Tafel giebt die Quecksilberhöhen in Englischen Zollen an. [Nemlich da der *verschlossene* Raum *über* dem Quecksilber im Barometer mit der Triebröhre in Verbindung stand, so mufste das Quecksilber mit dem in der offenen Kugel, wo es dem Drucke der *äufsern* Luft ausgesetzt war, in der Waage stehen, oder sich *gar nicht* in der Barometerröhre erheben, wenn noch *gar keine* Luft aus der Luftröhre und also aus dem verschlossenen Raum über dem Quecksilber ausgeschöpft war. So wie die Aus-

schöpfung begonnen hatte, verdünnte sich die Luft in der Triebröhre und in dem Raum über dem Quecksilber; der Druck der äufsern Luft bekam das Übergewicht und das Quecksilber in der Barometerröhre *stieg* allmälig, so wie die Ausschöpfung fortgesetzt wurde. D. H.] Die Höhe des Quecksilbers im Barometer unter dem vollen Druck der äufsern Luft beträgt, wie bekannt, gewöhnlich 29 Zoll [30 Z. Englisch. Dieses ist ein sehr hoher Barometerstand. Der mittlere Barometerstand würde wohl nur zu 28 Zoll anzunehmen sein. D. H.] Die fünf folgenden Spalten gehen an, wieviele Secunden über das Aufsteigen des Quecksilbers von der einen zur andern Höhe vergingen. [Der Herr Verfasser hat auch noch die Zeit des Anfangs und des Endes dieser Zeiträume angegeben; was hier füglich wegbleiben konnte. D. H.] Auf die ersten 4 bis 5 Zoll stieg das Quecksilber fast augenblicklich, und schwankend. Daher ist hier keine Zeit angegeben. Von dem 5ten Zoll an wurde das Aufsteigen des Quecksilbers etwas regelmäfsiger; jedoch waren die Schwankungen immer noch beträchtlicher, als weiterhin. Daraus erklären sich die 15 Secunden vom 4ten bis zum 5ten Zolle, während weiterhin, bis zum 13ten Zolle, die Aufsteigung fast regelmäfsig nur 10 Secunden von Zoll zu Zoll dauerte. Vom 13ten Zoll an nahm die Zeit zur Aufsteigung, wie es die Tafel zeigt, zu. Bis zum 22ten oder 23ten Zoll erhob sich das Quecksilber noch leicht. Aber von da weiter waren 1 bis 1½ Minuten und, um bis zum 24ten und 25ten Zoll zu gelangen, fast 2 Minuten zu einem Zoll nöthig. Indessen gelangten wir bei allen Versuchen bis zu dieser Höhe; das Quecksilber schwankte dann zwischen 24¾ und 25¼ Zoll. Die ganze Zeit, um diese Quecksilberhöhe zu erreichen, kann zu 9½ bis 10 Minuten angenommen werden; aber, wie mir Herr *Samuda* bemerklich machte und wie ich auch späterhin gesehen habe, genügt schon eine viel geringere Höhe. Wir schöpften die Triebröhre bis zu jenem Grade nur des Versuchs wegen aus. Eine Quecksilberhöhe von 13 bis 14 Zoll Englisch [also 12½ bis 13½ Zoll Preufs.], die hinreichend und angemessen ist, läfst sich in 2 Minuten erlangen; eine Höhe von 22 Zoll [21⅓ Z. Preufs.] in 5 Minuten. (*P.* Also die gröfste Quecksilberhöhe betrüge etwa *Fünfsechstheil* des atmosphärischen Drucks. Um einen luft*leeren* Raum hervorzubringen, würde die Kraft der Maschine von 100 Pferden fast ganz erschöpft werden. [*Keine,* noch so grofse Kraft sogar würde *dazu* hinreichend sein. D. H.] Dieses bestärkt mich in meiner Meinung, dafs man mit dem Ausschöpfen nicht über 20 Zoll oder *Zweidrittheil* Atmosphären gehen müsse, um mit Kosten-Ersparnifs auf der Bahn zu fahren. Unter diesem Drucke beträgt die Zugkraft

des Kolbens der dortigen Eisenbahn 1166 Pfd.; was weniger ist als die Kraft der gewöhnlichen Dampfwagenmaschinen.)

Ich sehe aus dem Berichte des Herrn *Teisserenc,* dafs man bei dem ersten Versuche mit einer atmosphärischen Eisenbahn, zu Wormwood-Scrubs bei London, gewöhnlich nur bis auf 18 Zoll, und nur mit grofser Mühe bis zu 23 Zoll Quecksilberhöhe gelangte. Also hat hier schon eine merkliche Vervollkommnung Statt gefunden.

25. Nach diesen Versuchen machte ich andere, in der entgegengesetzten Absicht; also um zu sehen, in welcher Zeit die gewonnene Verdünnung der Luft wieder *verloren* gehe, nemlich das Quecksilber im Barometer wieder falle [was sich also auf die Undichtigkeit der Klappen bezieht. D. H.]. Ich habe hierüber zwei Versuche angestellt; Herr *Samuda,* vom 11ten Zoll an, einen dritten. Die Ergebnisse zeigt die folgende Tafel.

Tafel der Zeit, in welcher die Senkung des Quecksilbers im Barometer von Zoll zu Zoll erfolgt, also die gewonnene Verdünnung der Luft in der Triebröhre wieder verloren geht.

Höhe des Quecksilbers in Englischen Zollen.	Zeit, welche über das Fallen des Quecksilbers von Zoll zu Zoll verging, *in Secunden.*			
	Erster Versuch.	Zweiter Versuch.	Dritter Versuch.	Durchschnitt.
24	37	—	—	37
23	22	29	—	26
22	34	29	—	32
21	30	31	—	30
20	31	29	—	30
19	31	32	—	32
18	32	31	—	32
17	32	32	—	32
16	33	33	—	33
15	33	33	—	33
14	32	32	—	32
13	33	35	—	34
12	33	31	—	32
11	32	33	35	33
10	32	36	35	34
9	33	29	35	32
8	28	30	34	31
7	27	31	30	29
6	24	21	25	23
5	20	21	25	22
4	17	—	20	19
3	—	—	20	20
2				

Man sieht aus dieser Tafel, dafs das Quecksilber vom 24ten bis zum 7ten Zoll, je in 32 bis 33 Secunden um einen Zoll sank, und dafs also in diesem Umfange das Eindringen der äufsern Luft in die Triebröhre der Eisenbahn von der Spannung der verdünnten Luft in derselben *unabhängig* war. Vom 23ten bis zum 22ten Zoll fanden sich zwar nur 26 Secunden, aber dieses war wohl nur eine zufällige Abweichung. Vom 7ten Zoll an drang die Luft schnell ein; bis zu 20 Secunden für den Zoll. Die ganze Zeit des Eindringens der Luft, von 24 Zoll Quecksilberhöhe an, betrug bei dem einen Versuch 10 Min. 26 Sec., bei dem andern 9 Min. 58 Sec.

26. Die Versuche mit dem *Aufsteigen* des Quecksilbers wurden immer nach dem Durchgange eines oder mehrerer Wagenzüge gemacht. Ich stellte auch noch einen Versuch nach erfolgtem Wieder-Eindringen der Luft an. Es verhielt sich hier bis zum 20ten Zolle ganz wie vorhin; aber der höhere Barometerstand wurde schwieriger erreicht; woraus also folgte, dafs die Klappe auf dem Schlitz der Röhre nach dem Durchgange eines Wagenzuges besser schlofs. Dieses war auch zu erwarten; denn nachdem erst die Luft wieder in die Röhre eingelassen war, konnte die Klappe nicht so gut schliefsen, als nachdem sie von der Rolle am Wagenzuge angedrückt und die Dichtungsmasse flüssig gemacht worden war. Ich hätte erwartet, dafs der Unterschied gröfser sein würde, und ich glaube auch, dafs sich, wenn der Versuch wiederholt worden wäre, gefunden haben würde, dafs die Klappe immerfort weniger genau schliefst. Die Rolle, welche das Rad andrückt, ist gewifs wesentlich nöthig. Ebenso die Verdichtungsmasse. Aber diese Masse leistet nur ihre Dienste, nachdem sie *flussig* gewesen ist, und der heifse Cylinder geht zu schnell vorüber, als dafs seine Wirkung nachhaltig sein könnte. Bei einer Geschwindigkeit von 30 F. in der Secunde, die nur schwach ist, verweilt der Cylinder auf jedem Puncte nur Einzehntheil Secunde, denn er ist nur 3 F. lang. Die nützliche Wirkung des Cylinders ist das *Zusammendrücken*. Er prefst die Verdichtungsmasse gegen den Rand der Klappe und verschliefst so die Zwischenräume.

27. Unter den mit dem Barometer angestellten Versuchen darf ich denjenigen nicht übergehen, welcher von Herrn *Samuda* und Herrn *Pim*, dem Cassirer der Gesellschaft der Eisenbahn von Dublin nach Kingstown und dem Urheber der hiesigen atmosphärischen Eisenbahn, gemeinschaftlich angestellt worden ist. Diese beiden Herren beobachteten, jeder mit einem Chronometer in der Hand, der eine den Barometer an der Dampfmaschine der Luft-

pumpe, der andere den Barometer unter dem Tunnel zu Kingstown. Ihr Zweck war, die Geschwindigkeit zu ermitteln, mit welcher sich die Verdünnung der Luft *fortpflanzt*. Die Ergebnisse enthält folgende Tafel.

Höhe des Quecksilbers in Englischen Zollen.	Zeit der Beobachtung. Zu Dalkey. Min.	Sec.	Zu Kingstown. Min.	Sec.	Unterschied. Secunden.
4	35	15	35	50	35
5	35	20	32	59	39
6	35	30	36	8	38
7	35	45	36	15	30
8	35	55	36	25	30
9	36	5	36	33	28
10	36	15	36	42	27
11	36	25	36	53	28
12	36	36	37	3	27
13	36	47	37	13	26
14	37	0	37	27	27
15	37	11	37	41	30
16	37	25	37	57	32
17	37	50	38	20	30
18	38	12	38	42	30
19	38	35	39	8	33
20	39	4	39	42	38
21	39	40	40	27	47
22	40	30	41	25	55

Der Durchschnitt der Zeit-Unterschiede ist 30 Secunden. Diese Zeit verging, ehe der Barometer am Tunnel dieselbe Höhe zeigte, wie der Barometer an der Luftpumpe. Die Entfernung war 730 Ruthen: also pflanzte sich die Verdünnung der Luft mit einer Geschwindigkeit von 292 F. in der Secunde fort. Ich habe bei dem Durchschnitt die beiden letzten Zeit-Unterschiede von 47 und 55 Secunden nicht in Rechnung gebracht und betrachte sie als eine zufällige Abweichung, wahrscheinlich aus der Schwierigkeit entstanden, die Quecksilberhöhen von 21 bis 22 Zoll zu beobachten. Auf dieser Höhe beginnt das Quecksilber stark zu schwanken, während es bis dahin fast regelmäfsig emporsteigt.

28. Der letzte Versuch, welchen ich mit dem Barometer gemacht habe, bezog sich auf die *Reibung des Kolbens und der Rollen, welche die Klappe heben, der Rolle, welche sie wieder andrückt, und des vorerwähnten, zur Flüssigmachung der Verdichtungsmasse bestimmten Cylinders.* Wir brachten den Wagen, an welchen der Kolben befestigt ist, in

den geradlinigen Theil der Eisenbahn, welcher 1 auf 115 Abhang hat. Das Gewicht dieses Wagens betrug 80¾ Ctr. Er war mit 13 Personen besetzt, welche, zu 150 Pfd. gerechnet, noch $17\frac{7}{10}$ Ctr. Gewicht gaben, so dafs der Wagen überhaupt 98½ Ctr. wog. Ich liefs die Triebröhre so weit ausschöpfen, dafs der Wagen sich in eine langsame und regelmäfsige Bewegung setzte. Anfangs, um erst die Trägheit der Massen zu überwinden, mufste der Barometer auf 4 bis 5 Zoll Höhe gebracht werden, aber nachdem die Bewegung regelmäfsig geworden war, schwankte das Quecksilber zwischen 1 und 2 Zoll (Engl.). Die Verdünnung der Luft wurde durch einen Arbeiter geregelt, welcher die Verbindungsklappe zwischen der Saugröhre und der Triebröhre mehr oder weniger öffnete. In jener war die Verdünnung der Luft bis auf 25 Zoll gebracht. Die Stelle, wo man den Versuch anstellte, war sehr nahe an dem Verbindungs-Orte der beiden Röhren. Um nicht zu wenig zu rechnen, schlug ich die Reibung auf 2 Zoll Druck, also auf Ein Pfund für den Quadratzoll an. Der hiezu gehörige Druck auf die Kolbenfläche betrug also 170 Pfd. (Preufs.). Die zur Überwindung der Reibung des Wagens auf den Schienen nöthige Kraft beträgt den 250ten Theil von 98½ Ctr., also 43⅓ Pfd., diejenige zum Ersteigen des Abhanges den 115ten Theil der Last, also 94 Pfd.; und 43⅓ und 94, zusammen 137⅓ Pfd., von 170 abgezogen, läfst 32⅔ Pfd. zur Überwindung der Reibung des Kolbens etc. übrig; was auf den Quadratzoll etwa ⅓ Pfd. ausmacht. (***P.*** Dieser Versuch scheint mir wenig sicher. Der Barometer ist hier wegen der Schwankungen des Quecksilbers ein sehr unsicheres Werkzeug. Herr *Mallet* sagt, das Quecksilber habe zwischen 1 und 2 Zoll *geschwankt*. Nimmt man 1 Zoll an, statt 2, so ergiebt sich *Null* für die Reibung des Kolbens. Der Widerstand mufs auch offenbar mit der Geschwindigkeit zunehmen, da die Trägheit der Masse des Ventils zu überwinden ist; [welches letztere aber doch wohl nur eine sehr geringe Kraft erfordern dürfte. D. H.])

Herr ***Teisserenc*** fand durch einen zu Wormwood-Scrubbs mit Sorgfalt angestellten Versuch, dafs die Barometerhöhe, bei welcher der Wagen eine langsame und regelmäfsige Bewegung annahm, 3½ Zoll betrug; was auf 1 Quadratzoll Kolbenfläche $1\frac{7}{10}$ Pfd. und 108 Pfd. für die 63½ Q. Z. (Engl.) des Kolbens ausmachte. Der Versuch wurde auf einer horizontalen Strecke der Bahn angestellt. Zieht man 50 Pfd. für die Reibung der Wagenräder ab, so bleiben 58 Pfd. für die Reibung des Kolbens etc. Da die Triebkraft auf 18 Zoll Druckhöhe 572 Pfd. betrug, so schlofs Herr ***Teisserenc,*** dafs die Reibung des Kolbens davon der 10te Theil sei. Es ist aber nicht zu verwundern, dafs

Herr *Teisserenc* eine stärkere Reibung des Kolbens fand, als ich; denn die Eisenbahn von Wormwood-Scrubbs war in dem allerübelsten Zustande, und gleichsam aufgegeben, während sich die Bahn zwischen Kingstown und Dalkey in dem allerbesten Stande befand. Was den geringen Betrag von 34 Pfd., wovon der gröfsere Theil auf die Reibung des Kolbens kommt, erklärt, ist, dafs die Triebröhre inwendig durchweg einen Überzug von Talg hat. Vor dem Legen der Röhrenstücke sind die Enden der Stücke erwärmt und mit einer gewissen Masse Talg bestrichen worden. Man hat darauf das Röhrenstück in eine drehende Bewegung gebracht, und ein Arbeiter breitete die Talgmasse gleichförmig aus. Aufserdem *hängt* der Kolben ganz an dem vordersten Wagen, so dafs die Reibung an seinem ganzen Umfange gleich ist. Die Bewegung des Kolbens breitet vollends den Talg in der übrigens *nicht* ausgebohrten Röhre gleichförmig aus. Ich habe beobachtet, dafs der Kolben nicht das Geringste davon mit sich fortführte. Herr *Teisserenc* bemerkt hier noch ganz richtig, dafs, während die Triebkraft im Verhältnifs des *Quadrats* des Durchmessers der Triebröhre wächst, die Reibung des Kolbens nur in dem *einfachen* Verhältnifs des Durchmessers zunimmt. Die Querschnitte der Kolben zu Wormwood-Scrubbs und zu Kingstown verhalten sich zu einander fast wie 1 zu 3, ihre Umfänge dagegen nur wie 7 zu 12.

Ich komme jetzt zu den Versuchen in Betreff der *Geschwindigkeit.*

29. Bei dem ersten Versuch stand der Barometer auf 24 Zoll Preufs. Der Wagenzug bestand aus 7 Fahrzeugen, die zusammen 450 Ctr. wogen. Die 6 Personenwagen waren mit 200 Personen besetzt, so dafs man das gesammte Gewicht des Wagenzuges auf 749 Ctr. annehmen konnte. Nachdem der Kolben in die Röhre gebracht war, sahe man den Barometer am vordern Wagen allmälig bis auf 8¾ Zoll Pr. sich erheben, obgleich die Eintrittsklappe noch verschlossen blieb. Deshalb habe ich eben bei dieser Klappe gesagt, dafs dieses Ventil auch dann noch sich nicht öffnet, wenn selbst die Gegenklappe *nicht* gröfser ist. Wie leicht zu sehen, mufste hier der Wagenzug durch Hemmen zurückgehalten werden. In der That wurde derselbe schon von 766 Pfd. Luftdruck fortgetrieben. So wie nun das Ventil geöffnet wurde, stieg das Quecksilber in dem Barometer am Leitwagen sogleich auf 24 Zoll Pr. Man lösete jetzt die Bremsen, und wir fuhren mit einer sehr grofsen Geschwindigkeit fort. Ich maafs sie bei diesem Versuche noch nicht, sondern begnügte mich, die Zeit der Abfahrt anzumerken. In der Krümmung, deren Halbmesser 47 R. ist und deren Bogen 70 Grade fafst, wurde die Bewegung durch

Hemmen gemäfsigt. Wir empfanden gleichwohl einen starken Druck nach der Seite und wurden heftig Einer gegen den Andern geworfen, als wir von der einen Krümme in die andere von entgegengesetzter Richtung übergingen. Dies geschah auch bei der Brücke über die Strafse von Glastoole. Bei allen Fahrten, wo die Geschwindigkeit gegen 6½ Meilen auf die Stunde betrug, empfanden wir an jener Stelle diesen Stofs; und zwar nur an dieser einen Stelle. Ohne die Gegenschienen würden dort die Wagen wahrscheinlich aus den Schienen geschleudert werden. Die Fahrt wurde in 3¼ Minuten zurückgelegt. Dieses würde auf die 740 Ruthen Länge, wenn die Geschwindigkeit gleichförmig gewesen wäre, etwa 7 Meilen auf die Stunde betragen. Herr *Samuda* hat in dem geradlinigen Theile der Bahn Geschwindigkeiten von 8¼ Meilen auf die Stunde beobachtet. (*P.* Die obige Bemerkung wegen der Krümme ist ein Fingerzeig für Die, welche in einer Krümme von einigen wenigen Ruthen Halbmesser die Geschwindigkeit zu verdoppeln gedenken.)

30. Nachdem der Wagenzug nach Kingstown zurückgebracht worden war, fand sofort eine zweite Fahrt Statt. Der Barometer zeigte 24¼ Zoll Pr. Die Fahrt wurde in 3 Minuten 7 Sec. zurückgelegt. An einzelnen Stellen war die Geschwindigkeit 9½ Meile auf die Stunde.* Während der Fahrt sank der Barometer bis auf 20¼ Zoll Pr. Dieses geschah, weil man schneller fuhr, als die Luft ausgeschöpft werden konnte; die verdünnte Luft in der Triebröhre wurde um etwas zusammengedrückt, und deshalb sank das Quecksilber.

Bei dem weiter folgenden Versuch mit dem nemlichen Wagenzuge verhielt es sich umgekehrt. Wir fuhren mit 7¾ Zoll Pr. Druck ab, also mit 681 Pfd. Triebkraft. Die Geschwindigkeit war geringer und wir sahen das Quecksilber allmälig bis auf 19¾ Zoll steigen. Die Luft wurde jetzt schneller ausgeschöpft, während wir fuhren. Dieses ist eine zu bemerkende Eigenschaft der atmosphärischen Eisenbahnen. So wie die Geschwindigkeit wegen des zu grofsen Gewichts des Wagenzuges oder eines sonstigen Aufenthalts abnimmt, nimmt die Triebkraft zu. (*P.* Dies ist aber nicht sehr erwünscht, wenn man aus irgend einem Grunde die Bewegung verzögern *mufs.*) Diese Fahrt erforderte 4½ Minuten; was 4¾ Meilen in der Stunde ausmacht. An einigen Stellen aber betrug die Geschwindigkeit bis 6½ Meilen.

31. Bei den folgenden Versuchen habe ich die Geschwindigkeit genauer beobachtet. Bei jeder 10¾ Ruthen langen Abtheilung des Weges wurde die verflossene Zeit durch ein Instrument angemerkt, welches die Form einer Uhr hatte. Es machte einen Strich auf ein dazu bereitetes Papier, so wie man eine

Feder andrückte. Das Papier ward in eine gleichförmige umlaufende Bewegung gebracht. Aus den Zeitmomenten lassen sich die Geschwindigkeiten finden. Ich habe den Betrag dieser Geschwindigkeiten auf die Stunde berechnet, und für verschiedene Wagenzüge. Zur besseren Übersicht sind in der folgenden Tafel die Geschwindigkeiten von 107 zu 107 Ruthen [¼ Engl. Meile] angegeben.

Gewicht des Wagenzuges in Centnern.	Geschwindigkeit auf die Stunde in Preufs. Meilen. Auf die 1ten 107 R.	Auf die 2ten 107 R.	Auf die 3ten 107 R.	Auf die 4ten 107 R.	Auf die 5ten 107 R.	Auf die 6ten 107 R.
591	4,03	5,68	5,65	5,94	6,86	6,97
591	3,83	5,46	5,65	5,36	6,05	6,61
749	3,86	6,88	6,19	6,88	6,42	6,29
1380	2,85	3,68	4,21	4,17	4,47	44,6
	Geschwindigkeit der Rückfahrt unter der Wirkung der Schwere.					
591	2,92	4,33	4,74	4,39	4,53	4,49

Über die 642 Ruthen hinaus, auf 42 Ruthen, war die Geschwindigkeit die in dem letzten Abschnitt. Der Kolben hatte die Triebröhre verlassen. Als man hemmte, um anzuhalten, war die Geschwindigkeit beim ersten Versuche noch 3,84 Meilen in der Stunde, bei dem zweiten Versuch nur 2,65 Meilen.

Zufolge (Fig. 1.) befinden sich die Krümmen in dem obigen 4ten Abschnitt. Auch ergab sich die gröfste Geschwindigkeit nur in dem 5ten und 6ten Abschnitt. An einigen Stellen betrug sie in diesen beiden Abschnitten bei den beiden ersten Versuchen bis 8½ Meilen auf die Stunde. (*P.* Es ist wohl schwer zu glauben, dafs auf etwa 100 R. lang die Geschwindigkeit so sehr sich verändern könne. Auf Schätzungen und Näherungen ist nicht sicher zu bauen.) Bei dem dritten Versuch, mit einem Wagenzuge von 749 Ctr. schwer, ist nach einer Secunden-Uhr beobachtet worden. Die Ergebnisse sind weniger sicher, als die der vorigen Versuche. Mit dem Wagenzuge von 1380 Ctr. bei dem vierten Versuche sind die Geschwindigkeiten nach dem Austritt aus den Krümmungen zwar ebenfalls gröfser, aber sie sind durchweg gleichförmiger.

Noch bemerke ich, dafs die Geschwindigkeit gleich nach der Abfahrt beim ersten Versuch 0,96, beim zweiten 1,39 Meilen war; aber in der 6ten Abtheilung, also nachdem 64 Ruthen zurückgelegt waren, und zwar in 30 bis 40 Secunden, betrug sie schon 5,13 M. bei der ersten und 4,52 Meilen bei der zweiten Fahrt. Diese auf solche Weise schneller als mit Dampfwagen erreichte Geschwindigkeit rührte zum Theil von dem Abhang bei dem Anfange der Bahn her.

Bei dem in der Tafel angegebenen Versuch einer ***Rückfahrt*** mit einem 591 Ctr. schweren Wagenzuge, der, sich selbst überlassen, ***blofs von der Kraft der Schwere bergab fortgetrieben wurde***, war die gröfste Geschwindigkeit 4,74 Meilen; und zwar in der 3ten Abtheilung. Es ist diese Stelle ungefähr die Mitte der Bahn, und man befindet sich auf einer auf 106 Ruthen lang beinahe geraden Linie. Nach der Abfahrt betrug die Geschwindigkeit 1726 Ruthen auf die Stunde; am Fufse des 87 R. langen Abhanges von 1 auf 57 betrug sie 7691 Ruthen. Die Fallhöhe ist 18,4 F. Bei freiem Falle würde dieses eine Geschwindigkeit von 17 092 R. auf die Stunde geben.

32. Nach meiner Abreise von Dublin hat man noch 4 Versuche mit Wagenzügen von 591, 1190, 1388 und 1407 Ctr. schwer angestellt. Man findet die Nachricht davon in der Railway-Times vom 2ten December 1843. Auf 21 Ruthen lang ist man mit einer Geschwindigkeit von 10,89 Meilen in der Stunde gefahren. (*P.* Ich bestreite geradezu diese Geschwindigkeit auf eine so kurze Strecke. Ein Irrthum von einer Secunde, wie er sehr leicht ist, ändert das berechnete Ergebnifs sehr. Um die Geschwindigkeit einer so schweren und so schnell bewegten Masse zu ***ändern***, ist eine grofse Kraft nöthig; und die Änderung auf 21 Ruthen lang kann nur unbedeutend sein, nachdem der Wagenzug seine normale Geschwindigkeit erlangt hat. Nur auf gröfsere Längen läfst sich sicher messen.)

Folgendes sind die Resultate der 3 letzten von den vorhin erwähnten 4 Versuchen. Der erste ist den meinigen ähnlich; deshalb übergehe ich ihn.

	Gewicht des Wagenzuges in Centnern.	Geschwindigkeit auf die Stunde in Preufs. Meilen					
		Auf die 1ten 107 R.	Auf die 2ten 107 R.	Auf die 3ten 107 R.	Auf die 4ten 107 R.	Auf die 5ten 107 R.	Auf die 6ten 107 R.
No. 2.	1190	2,56	4,27	4,70	4,59	4,59	4,49
No. 3.	1388	2,40	3,85	4,06	3,76	3,93	3,42
No. 4.	1407	2,56	3,63	3,85	3,31	3,55	2,67

Bei No. 2. waren 7 Wagen mit 47 Personen besetzt, 5 Wagen mit Gütern und 100 Ctr. Eisen.

Bei No. 3. waren 7 Wagen mit 121 Personen besetzt und 200 Ctr. Eisen.

Bei No. 4. waren 7 Wagen mit 134 Personen besetzt und 200 Ctr. Eisen.

Die Geschwindigkeit in den ersten 107 Ruthen ist für die 3 Wagenzüge fast dieselbe, nemlich 2½ Meilen in der Stunde. Auf den folgenden Wegestrecken aber nimmt sie ab, so wie die Ladung zunimmt. Die gröfste Geschwindigkeit findet sich in der dritten Wegestrecke; nemlich 4,7 Meilen in

der Stunde mit 1190 Ctr. Ladung, 4,06 Meilen mit 1388 und 3,85 Meilen mit 1407 Ctr. Ladung. Diese dritte Wegestrecke hat gerade die Krümmen, also hat man wahrscheinlich bei diesen Versuchen nicht gehemmt, wie bei den meinigen und bei weniger schweren Ladungen.

Bei diesen Versuchen ist auch noch die Quecksilberhöhe *während* der Fahrt angegeben. Sie betrug bei No. 2. 24 Zoll Pr. bei der Abfahrt und 23 Zoll bei der Ankunft. Bei No. 3. senkte sich das Quecksilber von 24 Zoll um $\frac{1}{2}$ Zoll und erhob sich dann wieder auf 24 Zoll; bei No. 4. ebenso, aber nur um $\frac{3}{4}$ Zoll. Bei allen 3 Fahrten war der Widerstand ungefähr mit der Triebkraft im Gleichgewicht.

33. Wenn man auf dieser Eisenbahn Wagenzüge bis zu 1407 Ctr. sich fortbewegen sieht, so fragt man sich, ob dieselben nicht hier das Maximum sind, was sich durch die Triebröhre und auf diesem Abhange fortschaffen läfst. Es ist schwierig, hier das Maximum durch *Rechnung* zu finden, weil die Gefälle der Bahn so verschieden sind. Reducirt man sie auf einen *mittleren* Abhang, indem man auf die *Länge* jedes einzelnen Abhanges Rücksicht nimmt, so ergiebt sich ein Abhang von 1 auf $105\frac{1}{2}$. (*P.* Hier scheint ein Rechnungsfehler zu sein. Der mittlere Abhang beträgt nur 1 auf 143. In der That liegt zufolge des Längsdurchschnitts der Bahn (Fig. 3.) der höchste Punct über dem niedrigsten 5,71 Ruthen hoch. Die Länge des Abhanges ist 547 Ruthen; die beigeschriebene Höhe ist 3,84 Ruthen; was einen mittleren Abhang von 1 auf 143 giebt, und was dann die folgende Rechnung bedeutend ändert. Der Fehler war übrigens leicht wahrzunehmen; denn practische Ergebnisse stimmen mit einer theoretischen Rechnung so genau niemals. [Wie es scheint hat aber Herr *Mallet* aus den verschiedenen *Brüchen*, welche die Abhänge ausdrücken, ein Mittel genommen. D. H.])

Der Druck auf den Kolben bei $24\frac{3}{4}$ Engl. Zoll Barometerhöhe beträgt	2233 Pfd.
Davon für die Reibung des Kolbens etc. abgezogen . .	33 –
Bleiben	2200 Pfd.

Die Last, welche diese übrig bleibende Triebkraft den mittlern Abhang von 1 auf $105\frac{1}{2}$ hinaufzuziehen vermag, müfste mit $\frac{1}{250}$ wegen der Reibung der Räder auf der Bahn, $+\frac{1}{105\frac{1}{2}}$ wegen des Abhanges, also mit $\frac{1}{250}+\frac{1}{105\frac{1}{2}}=\frac{711}{250.211}$ multiplicirt werden, um die 2200 Pfd. Kraft zu geben: also müfsten, um die

Last aus der Kraft zu finden, 2200 Pfd. mit $\frac{250.211}{711}$ multiplicirt werden. Dieses giebt $\frac{2200.250.211}{711.110} = 1483$ Ctr. für die gröfste Last, welche sich auf der Bahn bergan fortschaffen liefse; was den obigen 1407 Ctrn. so nahe kommt, wie es nur in solchen Fällen erwartet werden darf. [Die Rechnung des Herrn Verfassers weicht um etwas von der vorstehenden ab. Der Herr Verfasser findet statt 1483 Ctr. nur 1425 Ctr. D. H.] Man hat also in der That bei den Versuchen das ***Maximum*** erreicht; die Geschwindigkeit der Bewegung war 6623 Ruthen in der Stunde. Auf horizontaler Bahn würden die 2200 Pfd. Triebkraft $\frac{2200.250}{110} = 5000$ Ctr. fortzuschaffen vermögen. (***P.*** Ich bemerke, dafs mir das Vertrauen, welches Herr ***Mallet*** in die Zahlen setzt, die ein englisches Journal angiebt, um darnach, wie es hier sogleich im Folgenden geschieht, so bestimmt diese Eisenbahn für vollkommen gelungen zu erklären, ein wenig zu grofs zu sein scheint. Es wäre hier der Nutz-Effect dem theoretischen ***ganz gleich;*** was nicht zugegeben werden kann.)

34. Aus den hier berichteten Thatsachen und aus den von mir angestellten Versuchen ist zu schliefsen, dafs bei der Eisenbahn zwischen Kingstown und Dalkey die Aufgabe ***als gelöset*** betrachtet werden darf; so wie auch für jede ebenso lange und selbst längere Linie unter ähnlichen Umständen. Man hat hier einige Einwürfe gemacht. Man hat z. B. gefürchtet, dafs die längsaus laufende Schliefsklappe der Triebröhre nicht von langer Dauer sein werde. Aber nach Dem, was mir Herr ***Samuda*** gesagt hat, scheint es, dafs sie noch gar nicht gelitten habe. Man mufs nicht übersehen, dafs die Klappe nur so weit aufgebogen wird, als nöthig ist, die Verbindungsstange des Kolbens mit dem vordersten Wagen durchzulassen, nemlich nur bis auf etwa 45 Grad; was das Leder nicht angreift. Ich habe in London in den Werkstätten des Herrn ***Samuda*** einige Theile einer Klappe gesehen, die zwei Jahre lang auf der Eisenbahn zu Wormwood-Scrubbs in Dienst gewesen war; dem Regen und der Luft ausgesetzt. Das Leder war allerdings hart und starr, aber ich glaube, dafs es, eingeschmiert, noch ferner dienstfähig gewesen sein würde.

Man hat auch gesagt, dafs die Rollen am Kolben, bei ihrer schnellen Umdrehungs-Geschwindigkeit von 20 Umläufen in der Secunde, bei 10 Meilen Fortbewegung des Wagenzuges in der Stunde, an der Axe brennen würden. Bei Gebläsen ist aber die Umlaufsgeschwindigkeit noch gröfser, ohne dafs man einen Nachtheil davon wahrnimmt.

Der einzige Theil der Vorrichtung, welcher sich abnutzt, ist das Leder des Kolbens, obgleich es gegen Talg läuft. Nach Herrn *Samuda* mufs dasselbe erneuert werden, wenn es 24 Meilen durchlaufen hat. [Das ist allerdings etwas bald. D. H.]

35. Was ich bis jetzt berichtet habe, sind Thatsachen und Erfahrungs-Ergebnisse. Ich werde jetzt sagen, wie nach meiner Ansicht das atmosphärische System auf *längere* Linien anwendbar sein dürfte. Ich werde dabei verschiedene ungleiche Fälle voraussetzen.

(*P.* Meine Bemerkungen über diesen ersten Abschnitt durften nur sehr allgemein sein. Es galt hier eine blofse *Beschreibung*, und ich habe mich auf die Bemerkungen über einige Thatsachen beschränkt. Es ist gewifs, dafs die Eisenbahn bei Dalkey *Dienste leistet.* Um aber den Erfolg und den Ertrag näher zu beurtheilen, mufs die Benutzung erst mehrere Monate fortgesetzt worden sein. Ich glaube auch, dafs diese Eisenbahn unter genauer Aufsicht, mit einer einfachen Verwaltung, wie der Transport blofs nach einer Richtung auf einer ganz nach einer Seite hin abhängenden Bahn sie zuläfst, befriedigende Ergebnisse liefern werde. Weiter unten werde ich natürlich auseinanderzusetzen haben, was ich unter befriedigende Erfolge verstehe.)

Dritter Abschnitt.

Ueber die Anwendung des atmosphärischen Systems auf Eisenbahnen im Allgemeinen.

36. Der einfachste Fall ist der, wo die Wagenzüge sich nicht *begegnen,* wo an jedem Ende der Bahn eine Station ist, und wo kein Wagenzug eher abgeht, als bis der von der andern Station her eingetroffen ist. Ich nehme eine solche Bahn *horizontal* an; so dafs die Triebröhre in beiden Richtungen wirksam sein mufs.

37. Ehe ich weiter gehe, mufs ich aber eine Haupt-Voraussetzung machen. Auf der Eisenbahn bei Dalkey hat die Geschwindigkeit oft über 8½ Meilen in der Stunde betragen, und ohne Hemmen würde man mit 600 bis 800 Ctr. Fracht, die einer Last von 2000 bis 2700 Ctr. auf *horizontaler* Bahn gleich kommt, eine noch weit gröfsere Geschwindigkeit gehabt haben. (*P.* Nach den Versuchen des Herrn *Mallet,* wie sie oben dargestellt werden, hat die gröfste *erwiesene* Geschwindigkeit 6½ Meile in der Stunde für etwa 600 Ctr. Last betragen. Die blofs *geschätzten* Geschwindigkeiten können nicht in Be-

tracht kommen; und wahrscheinlich sind die *wirklichen* geringer.) Herr *Samuda* gedenkt, auf einer günstig geformten Eisenbahn mit 12¼ *Meilen Geschwindigkeit* in der Stunde zu fahren. Ich rathe nicht, so weit zu gehen; aber ich glaube, dafs man ohne Übelstand 7½ *bis* 9½ *Meilen* zulassen kann. Will man einmal ein System annehmen, so mufs man auch nicht seine Vortheile unbenutzt lassen. Man wird sich an 9 Meilen Geschwindigkeit gewöhnen, eben wie man sich an 6 Meilen gewöhnt hat. Der Übergang ist weniger stark, als der von der Geschwindigkeit der Pferde zu der der Dampfwagen. Schon fährt man auf der Great-Western Eisenbahn mit 6½ bis 7 Meilen Geschwindigkeit in der Stunde.

38. Das Erste, worauf es ankommt, ist der *Abstand der stehenden Maschinen von einander.* Die Bedingung ist, dafs in 5 Minuten die Luft bis auf 21 bis 22 Zoll Quecksilberhöhe mufs ausgeschöpft werden können. Mit einer Maschine von 100 Pferden Kraft wird man diese Wirkung erlangen; denn zu Dalkey arbeitet eine solche Maschine nur mit Drei Fünftheilen ihrer Kraft für eine 740 Ruthen lange Röhre. Aber ich glaube nicht, dafs diese Maschine so angeordnet ist, dafs Zeit gespart wird; worauf es vorzüglich ankommt. Beim Anfange ihrer Wirkung ist die Kraft nicht gut benutzt. Im Anfange nemlich ist die Luft noch auf beiden Seiten gleich dicht. Der Widerstand ist also viel geringer, als die angewendete Kraft. Um die Kraft gut zu benutzen, müfste man nicht einen, sondern mehrere Kolben haben; dann würde die Luft weit schneller verdünnt werden. Man müfste die Wasserpresse nachahmen, deren Wirkung der hiesigen ähnlich ist. So wie der Widerstand zunimmt, müfste man einen kleinern Kolben nehmen. Hier könnten 3 bis 4 Kolben sein. Einer nach dem andern müfste allmälig verlassen werden, bis man nur noch mit einem pumpte, welcher zureichend sein würde, um die verlangte Verdünnung der Luft festzuhalten. Die Wirkung stehender Dampfmaschinen ist constant und ununterbrochen. Dagegen ist hier eine zunehmende und unterbrochene Wirkung nöthig. Um Beides zu vereinigen, mufs eine besondere Vorrichtung Statt finden. Ich werde eine solche vorschlagen; besonders um beim Auspumpen *Zeit* zu sparen. Es werden sich gewifs noch andere finden lassen; auch um die Verbrennung zu beschleunigen, oder zu verzögern. Die Mechaniker haben schwierigere Aufgaben gelöset.

39. Es seien A und C (Fig. 14.) die beiden Stationen. AB und BC sind die jede 1327½ Ruthen lange Röhren; m, m' und m'' sind drei stehende Maschinen. Die mittlere ist mit jeder der beiden Röhren in Ver-

bindung; *s*, *s'*, *s''* und *s'''* sind die Eintrittsklappen, wie ich sie oben beschrieben habe. Soll nun ein Wagenzug von *A* abgehen, so deutet man dem Führer der Maschine *m'* durch den electrischen Telegraphen an, er solle *AB* ausschöpfen. In demselben Augenblick bringt man den Kolben in *A* hinein und deutet dem Maschinen-Aufseher in *m''* an, die Röhre *BC* auszuschöpfen. Zu dem Ende ist die Klappe *s''* geschlossen; so wie die Ausgangsklappe in *C*. Der von *A* abgehende Wagenzug gelangt in 5 Minuten von *A* nach *B*, mit 8¼ Meilen Geschwindigkeit in der Stunde. (*P.* Da eine gewisse Zeit nöthig ist, um die Geschwindigkeit erst zu erlangen, und dann, sie wieder zu verlieren, so wird die Geschwindigkeit des Laufes gröfser sein. Wir werden weiter unten sehen, ob dazu nicht eine Maschine von 100 Pferden Kraft unzureichend sein dürfte.) Zwischen dem Ende der ersten und dem Anfange der zweiten Röhre kann man entweder eine Verbindungsröhre legen, oder auch den Zwischenraum frei lassen. Der Wagenzug geht nun von *AB* nach *BC* über. Er öffnet die Klappe *s''*, auf eine Weise, die ich weiter unten beschreiben werde, und gelangt in 5 andern Minuten nach *C*. Er hat also zu der ganzen Fahrt 10 Minuten nöthig gehabt. So wie der Kolben die Röhre *BC* verlassen hat, heifst man dem Maschinen-Aufseher in *m*, die Röhre *BC* auszupumpen. Zu dem Ende ist die Klappe *s'''* geschlossen. Nach Verlauf von 5 Minuten, die nöthig sind, um auf einen Quecksilberstand von 20 bis 22 Zoll zu kommen, wird der Kolben in *C* hineingebracht. Zugleich heifst man dem Maschinisten in *m*, die Röhre *BA* auszupumpen. In *B* angelangt, findet der Wagenzug die verdünnte Luft vor sich, und gelangt wieder von *C* nach *A* in 10 Minuten. Von der Abfahrt des Zuges von *A* bis zu seiner Rückkunft dahin sind also 25 Minuten verflossen. Fünf Minuten nach der Ankunft eines Zuges kann wieder ein anderer abgehen. Also kann *halbstündlich* auf einer Station ein Wagenzug hin- und hergelangen; und das ist mehr, als jemals nöthig sein wird. Nimmt man nemlich auch nur Züge von 3000 Ctr. schwer an (und sie können viel gröfser sein), so lassen sich auf einmal 30 Wagen, mit 720 Personen besetzt, fortschaffen. Dieses giebt für 14 Stunden tägliche Fahrzeit 20 160 Personen täglich, und 40 320 hin und her. (*P.* Diese Zahlen sind für die *Dalkey*sche Vorrichtung, nicht einmal auf starke, sondern nur auf gewöhnliche Abhänge angewendet, viel zu grofs. Wir werden bald weiter unten zeigen, dafs die Wirklichkeit mit den mathematischen Rechnungen nicht stimmt, und dafs eine Geschwindigkeit von 8 Meilen in der Stunde Maschinen, nicht von 100, sondern von 200 bis 300 Pferden Kraft erfordern würde.) Man

sieht aus dem obigen Resultat, dafs die Eisenbahn, welche ich wagerecht annahm, auch Abhänge haben könnte, welche auf atmosphärischen Eisenbahnen sogar sehr stark sein können. Ich komme weiter unten auf die Abhänge insbesondere zurück. Es ist zu bemerken, dafs der Transport der Lasten hier auf dieselbe Weise geschieht, wie die der Personen.

40. Ich habe von einem Mechanismus gesprochen, durch welchen Herr *Jac. Samuda* die Eintrittsklappen durch den Wagenzug selbst zu öffnen gedenkt. Er zieht zwar die Öffnung der Klappen durch Menschen vor: aber auf meine Bemerkung, dafs Unachtsamkeit der Arbeiter zu fürchten sei, meinte er wie folgt zu verfahren. Es ist nichts weiter nöthig, als das Schiebeventil zu ziehen, welches die Kammer *z* (Fig. 11.) mit der Röhre, in welcher man die Luft verdünnen will, in Verbindung setzt. In *N* befindet sich eine Dreh-Axe. Ein Gegengewicht in *P* strebt den Hebel in Bewegung zu setzen; aber er wird durch eine horizontale Stange *x x* Fig. (12.) zurückgehalten. Diese Stange erstreckt sich 66 bis 80 Fufs nach der Seite hin, von welcher der Wagenzug herkommt. Eines der Wagenräder trifft ihn und, so wie es anlangt, eine Feder, die der Länge nach in die Bahnschienen eingeschnitten ist. Indem diese Feder hinuntergedrückt wird, hebt sich ein Sperrkeil, der das Ende des Hebels *x x* löset. Dadurch wird das Gegengewicht wirksam, und das Ventil öffnet sich. Durch eine ähnliche Vorrichtung bewegt Herr *Samuda* seine Ventile nach Belieben nach jeder Richtung, und so oft es nöthig ist. Dieses ist wohl zu bemerken, weil die Bewegung der Ventile oft, und öfter nöthig sein kann, als Herr *Samuda* es meint.

41. Ich komme jetzt zu einer Eisenbahn, auf welcher die Wagenzüge einander *begegnen*. Ich nehme eine Bahn von 6637 Ruthen lang an. Sie werde durch Fig. 15. vorgestellt. *A* und *H* sind die beiden Stationen; *AB*, *BC*, *FG* und *GH* sind jede 1327½ Ruthen lang, *CD* und *EF* blofs 664 R. *m*, *m'*, *m''*, *m'''*, *m*ᵛ, *m*ᵛ sind die stehenden Maschinen. Die Klappen und ihre Bewegung sind wie vorhin. Fünf Minuten *vor* der Abfahrt der Wagenzüge von *A* und *H* werden die Maschinen *m* und *m'* in Bewegung gesetzt; die Maschinen *m''* und *m*ᵛ *im Augenblick* der Abfahrt, und *m'''* fünf Minuten nachher. In der Ausübung wird es freilich nicht mit völliger Genauigkeit geschehen. Aber durch Übung werden die Maschinisten lernen, ein wenig der Zeit zuvorzukommen, die ihnen durch den electrischen Telegraphen angezeigt wird. Da die Wagenzüge in *D* und *E* zugleich (P. 11) ankommen, so finden sie daselbst die Bahn zur Kreuzung vorbereitet. Fig. 16. stellt die

Ausweichestelle nach einem gröfseren Maafsstabe vor. Die vordersten Wagen, gut gelenkt, werden dem Kolben eine gewisse Richtung geben. Fig. 23. zeigt, wie sich Wagen von dem Zuge ablösen und andere anhängen lassen.

41. Da die Ausweichestellen immer auf den Stationen sein werden, so entsteht daselbst immer ein Aufenthalt. Der Zwischenraum *DE* Fig. 21., der etwa 20 Ruthen lang sein mufs, je nach der Länge des Wagenzuges, wird in einen um 1 auf 50 bis 1 auf 40 steigenden und einen eben so fallenden Theil getheilt, damit hier die Schwere stark wirken könne. Die Wagenzüge werden mit der erlangten Geschwindigkeit den Abhang ersteigen, bis wenigstens die Hälfte des Zuges den Gipfel erreicht hat. (*P.* Dieses Verfahren ist völlig unausführbar. Zuweilen wird der Wagenzug stillstehn, ehe er den Gipfel erreicht hat: zuweilen wird er über denselben hinausgehen. Das ist nicht Praxis, sondern blofse, unausführbare Theorie.) Nachdem das Nöthige auf der Station geschehen ist, werden die Wagenzüge durch einen geringen Stofs wieder in Bewegung gebracht. Der vordere Wagen bringt den Kolben in die Röhre, in welcher vorher die Luft verdünnt worden ist. Der nöthige Aufenthalt, um die Luft durch die Maschinen m'' und m^{v} aus *CD* und *EF* zu pumpen, müfste $2\frac{1}{2}$ Minute sein. Fände man ihn zu lang, so könnte man einen Behälter mit verdünnter Luft zu Hülfe nehmen. Auch könnte die Saugröhre der Maschine m''' zu Hülfe kommen.

Die Fahrt durch die 6637 Ruthen lange Bahn wird also etwa 27 Minuten dauern. Man kann folglich wenigstens alle 35 Minuten einen Wagenzug absenden. Also auch hier läfst sich dem stärksten Erfordernifs genügen, und es bleibt noch, wie in dem vorigen Beispiel, ein solcher Spielraum übrig, dafs auch die Gefälle der Bahn bedeutend sein können.

43. Eine Bahn, selbst von nur 2655 R. lang, kann schon nicht ohne Zwischenstationen sein. Auf der Bahn bei Dalkey hält Herr *Samuda,* wie ich davon Augenzeuge gewesen bin, den Wagenzug nach Belieben an, selbst bei der gröfsten Geschwindigkeit; und zwar durch *Bremsen.* Auf meine Bedenklichkeiten hiebei schlug er vor, die Wagenzüge durch eine dem Eintrittsventil ähnliche Klappe und durch einen rückwärts gehenden Kolben anzuhalten. Auch ich hatte schon an dieses Mittel gedacht, auf welches leicht Jeder fallen wird, der den Gegenstand kennt. Der zweite Kolben selbst würde, von der Klappe an, die durch ein dem obigen ähnliches Verfahren geschlossen werden könnte, die Luft verdünnen. (*P.* Dieses Mittel kann dienen, die Bewegung zu *mäfsigen,* aber nicht, sie schnell *aufzuheben,* weil seine Wirkung

nicht augenblicklich ist. Die Verdünnung der Luft in dem durchlaufenen Theil der Röhre bringt einen zunehmenden Widerstand hervor: aber um so langsamer, je länger der durchlaufene Röhrentheil ist. [Vielleicht aber will Herr *Samuda* in der Röhre von Strecke zu Strecke mehrere Klappen anbringen. Das Mittel wirkt indessen allerdings nur allmälig, und umsomehr langsam, da die Luft *vor* dem Kolben verdünnt ist. D. H.]) Dieses bringt mich auf einen sinnreichen Kolben, welchen ich in den Werkstätten des Herrn *Samuda* in London gesehen habe.

44. Fig. 10. Taf. VI. voriges Heft stellt den gewöhnlichen Kolben vor. Die Backen, welche das Leder zusammenpressen, bestehen aus eisernen Tafeln, gegen welche sich 6 Stangen stemmen. In dem andern Kolben sind die eisernen Tafeln zwischen den Stemmstangen mit 6 Löchern durchbohrt. Ein Deckel auf die Tafel öffnet und schliefst diese Löcher nach Belieben. Der Deckel wird durch einen sehr sinnreichen Mechanismus gedreht, welcher von dem Leitwagen aus in Bewegung gesetzt werden kann. Man sieht, dafs, wenn das Ventil geschlossen ist, der Wagenzug fortrückt und der hintere Kolben die Röhre hermetisch verschliefst, also die dadurch verdünnte Luft die Bewegung hemmt. Um wieder in den vorigen Stand zu kommen, darf man nur den Deckel wieder schliefsen. Es würde gut sein, wenn auch der vordere Kolben diese Einrichtung hätte. Im Fall einer Gefahr würde, so wie man das Register öffnet, die Luft eingelassen werden, und die Verdünnung der Luft, also auch die Triebkraft, würde aufhören.

45. Kann nun auf diese Weise eine Eisenbahn von 6637 Ruthen lang zu Stande gebracht werden, so ist sie auch von jeder beliebigen Länge möglich. Die Kreuzungen der Wagenzüge werden immer auf dieselbe Weise geschehen, und es können eben so viele und, wenn man die Kreuzungen näher zusammenrückt, noch mehr Wagenzüge fahren. Also selbst auf *einem Schienenpaar* läfst sich so viel als man will hin- und hertransportiren. Indessen darf man nichts übertreiben; und wenn in einem Falle, wie z. B. dem zwischen Paris und Versailles, in wenigen Stunden eine *sehr* grofse Menge von Personen fortzuschaffen sind, werden immer *zwei Schienenpaare* nothwendig sein.

46. Es ist hier der Ort, von einigen Vortheilen des atmosphärischen Systems zu sprechen, und von einigen Einwänden, die man dagegen gemacht hat. Zuerst ist diese Art Eisenbahnen von den Gefahren der *Dampfwagen* frei. Dieses wäre am 8ten Mai 1842 [bei dem grofsen Unglücksfall zwischen Paris und Versailles, D. H.] sehr wichtig gewesen. Sodann fällt hier die

Gefahr des *Zusammenstofsens* zweier sich entgegenkommenden Züge weg. Zwei Züge können hier nie der nemlichen Röhre sich bedienen. Indessen hat man dagegen Folgendes eingewendet. Wenn in *B* Fig. 20. eine Station zwischen den Röhren *AB* und *BC* ist und ein Wagenzug daselbst durch irgend einen Zufall aufgehalten wird, kann ein anderer, aus *A* zu bestimmter Zeit abgegangene Zug auf ihn stofsen. Die Antwort ist, dafs aus *A* kein Zug abgehen kann, weil *AB* nicht ausgepumpt ist. In der That mufs, damit *AB* ausgepumpt werden kann, die Ausgangsklappe in *B* verschlossen sein. Aber da der Wagenzug hier verweilt, so wird sein Führer sich wohl hüten, diese Klappe zu verschliefsen. Schliefst sich die Klappe vermittels des Durchganges des Wagenzuges selbst, so wird sie um so gewisser nicht verschlossen sein; denn der letzte Wagen wirkt erst auf sie, wenn er schon 80 bis 100 F. davon entfernt ist, das heifst, wenn er sich über der Röhre *BC* befindet; und dann ist kein Zusammenstofs mehr möglich. Und man mufs sich erinnern, dafs der Wagenzug nur erst einige Minuten nach dem Verschlufs der Klappe *B* von *A* abfahren kann. (*P.* Das ist klar. [Doch wohl nicht so ganz. D. H.] Aber wenn ein Aufenthalt durch irgend einen Schaden an der Röhre, an den Klappen, am Kolben, am Leitwagen u. s. w. entsteht, ist man auch *ganz* ohne Hülfe. Bei den Dampfwagen entsteht auf Eisenbahnen mit nur einem Schienenpaare die Gefahr des Zusammenstofsens nur durch die nachkommenden Wagen, wenn der vordere Zug aufgehalten wird. Schickt man keinen Zug nach, so giebt es keine Gefahr. [Die Erfahrung lehrt, dafs die Gefahr sowohl durch nachkommende als durch entgegengehende Züge entsteht. D. H.])

Auf atmosphärischen Eisenbahnen ist es ferner nicht möglich, dafs die Wagen aus der Spur kommen; und wenn es ja mit einem Wagen geschieht, kann daraus kein Unfall entstehen [?]. Der Leitwagen, welcher mit der Triebröhre, die man als unbeweglich fest betrachten kann, verbunden ist, *kann* nicht aus der Spur kommen. Die Wagen, welche ihm folgen und welche einer an den andern gekettet sind, können es noch weniger. Ist aber der vordere Wagen auf einer Eisenbahn gegen das Spurverlassen sicher, so liegt in diesem Punct wenig mehr an den folgenden Wagen. Die Räder werden neben der Bahn in die Erde wühlen, aber der Wagen kann sich nicht entfernen, und so ist keine Gefahr vorhanden. Dieser Vortheil des atmosphärischen Systems ist sehr wichtig. (*P.* Inzwischen wird auf Abhängen von 1 auf 40, beim Hinabfahren, blofs von der Kraft der Schwere getrieben, die Gefahr, dafs die Wagen die Spur verlassen, gröfser sein als auf den gewöhnlichen Eisenbahnen: theils

weil der Abhang stark ist, theils weil der Leitwagen weniger wiegt als ein Dampfwagen.) Die Krümmungen einer Bahn, welche jetzt nicht weniger als 212 Ruthen Halbmesser haben dürfen, können auf atmosphärischen Bahnen viel stärker sein. Ich bin zwar nicht der Meinung, dafs man ihnen so kleine Halbmesser geben dürfe, wie auf der Bahn bei Dalkey, aber 80 bis 100 Ruthen Halbmesser dürften hier zureichend sein. (*P.* Ich sehe *keinen* Grund, warum auf atmosphärischen Eisenbahnen die Halbmesser der Krümmen kleiner sollten sein können, als gewöhnlich. Den Gegenstand aus dem Gesichtspunct des Herrn *Mallet* betrachtend, dafs die Geschwindigkeit bis auf 6½ bis 8 Meilen in der Stunde gebracht werden dürfe, folgt vielmehr, dafs sie *gröfser* sein müssen.)

Herr *v. Pambour* sagt S. 594 der neuen Auflage seiner Schrift über Dampfwagen, wenn man die Felgen der Wagenräder auf $\frac{1}{7}$ der Breite schräg mache und den Spurkränzen auf jeder Seite der Bahn $\frac{1}{2}$ Zoll Spielraum gebe, so liefsen sich Krümmen von nur 50 Ruthen Halbmesser machen, ohne dafs darin die Spurkränze der Räder die Schienen berühren. Da indessen, fügt er hinzu, für diesen Fall völlig horizontale Schienen vorausgesetzt werden und die äufsern Schienen durch die Wagen möglicherweise etwas niedergedrückt werden können, so dafs also alsdann der Spurkranz an die Schienen anstreifen könnte, so werde es besser sein, die Halbmesser der Krümmen wenigstens 80 Ruthen lang zu machen. Die Rechnung, durch welche er diese Regeln findet, ist von der Geschwindigkeit der Bewegung unabhängig.

47. Auf den jetzigen Eisenbahnen entsteht grofse Gefahr, wenn ein Dampfwagen plötzlich *aufgehalten* wird. Herr *Samuda* begegnet einer solchen Gefahr durch folgendes Mittel, für den Fall, wo sich dem Kolben ein Hindernifs entgegensetzt, welches er nicht überwinden kann. Man sieht in den Figuren 6, 13, 15 und 19, dafs an dem vordersten Wagen eine Art von Klemme sich befindet, welche die Verbindungsstange des Wagens mit dem Kolben fasset. Diese Stange ist also gleichsam verstrebt. Ein hölzerner Pflock, von etwa 1½ Zoll im Durchmesser, und ein anderer, eiserner Bolzen, zu der Verbindungsstange gehörig und etwa 1½ Zoll auf jeder Seite vorspringend, ist so gestellt, dafs er die verstrebte Klemme vorwärts treibt, indem er sich auf die zu dem Ende gemachten Rinnen stützt. Diese Rinnen sind hinter dem Bolzen verlängert, um ihn, wenn es nöthig ist, fahren zu lassen. So wie nun der Kolben auf ein Hindernifs stöfst, bricht der hölzerne Pflock; die Verbindungsstange bleibt am Kolben; der Wagenzug setzt, ohne einen bedeutenden Stofs erlitten zu haben, seinen Weg fort, und steht dann bald still. Es würden

viele Worte nöthig sein, um diese Vorrichtung zu beschreiben, die man mit einem Blick aus den Zeichnungen sieht. [Weder diese Zeichnungen noch die Beschreibung sind sehr deutlich; doch läfst sich wohl leicht eine Vorrichtung machen, die den Zweck der hier beschriebenen erfüllt. Der Grundgedanke ist, dafs die Ablösung des Wagens von dem Kolben dadurch geschehen soll, dafs der Zug der Wagen, sobald der Kolben anstöfst, *den hölzernen Pflock zerbricht.* D. H.] (*P.* Es entsteht nur Gefahr, wenn ein Dampfwagen plötzlich in seinem Lauf gehemmt wird. *Dieselbe* Gefahr findet auf der atmosphärischen Eisenbahn Statt, und sie ist hier um so gröfser, weil man nicht auf der Stelle die Triebkraft hemmen kann. Der durch das Zerbrechen des hölzernen Pflocks vom Wagen abgelösete Kolben würde wie der Blitz fortgeschleudert werden und am Ende der Röhre, im Bahnhofe, gleich einer Kanonenkugel Verwüstungen anrichten. [Bei diesem Einwande *scheint* eine Verwechslung zu sein. Der Herr Verfasser spricht von dem Fall, wenn der *Kolben* plötzlich gehemmt wird, nicht der *Wagenzug;* und wenn der Kolben *gehemmt* wird, so wird er auch nicht weiter fortgetrieben. Dafs der hölzerne Pflock auch dann brechen soll, wenn der *Wagenzug* plötzlich stillstehen mufs, was freilich eigentlich die Gefahr bringt, scheint nicht gemeint zu sein. Also scheint die Gefahr von einem ohne Wagenzug allein fortschiefsenden Kolben wohl nicht vorhanden zu sein; und wäre es, so liefse sie sich durch eine Veränderung der Vorrichtung wohl leicht heben. D. H.])

48. Ich verschiebe Das, was von den Vortheilen des atmosphärischen Systems rücksichtlich der *Gefälle* einer Eisenbahn zu sagen ist, auf das Ende dieses Abschnitts. Bei Dalkey treibt die Luft die Wagen nur nach der einen Richtung, bergauf. Hinunter werden sie blofs durch die Kraft der Schwere getrieben. Aber in den meisten andern Fällen wird die Luft die Wagen nach *beiden* Richtungen treiben müssen. Man könnte beim ersten Anblick glauben, dafs in solchem Falle nichts weiter nöthig sei, als auf der Station den Kolben und den vordersten Leitwagen umzukehren. Aber dieses geht nicht an, da die Verbindungsstange des Kolbens und des Wagens *gebogen* ist, um besser durch den Schlitz der Triebröhre und neben die Röhrenklappe vorbeizukommen. Es mufs vielmehr der Kolben an das andere Ende der Kolbenstange an die Stelle des Gegengewichts gebracht werden (Fig. 10. Taf. VI.). Dieses geschieht in wenigen Minuten. (*P.* Diese Umsetzung des Kolbens dürfte mancherlei Übelstände haben, und mehr Zeit erfordern, als Herr *Mallet* glaubt, [dürfte aber auch leicht zu vermeiden sein. D. H.]) Ferner mufs der vordere Wagen

auch vorn, eben wie hinten, eine Plateform (Fig. 7.), eine Rolle, um die längsaus laufende Röhrenklappe anzudrücken, und einen Cylinder zum Andrücken der Verdichtungsmasse haben. Nichts aber ist leichter, als diese letzteren Theile aufser Dienst zu setzen, wenn sie nicht wirken sollen.

49. Ein anderer Einwand betrifft die horizontalen Übergänge (passages à niveau). Sie geschehen ganz wie mit Dampfwagen. Die Triebröhre wird hier unterbrochen. Aber damit die Ausschöpfung der Luft Statt finden könne, werden die beiden getrennten Röhren durch eine unter der Erde fortlaufende Röhre unterbrochen, welche mit Knieen in die beiden Triebröhren einmündet; und zwar jenseits der Ausgangs- und der Eintrittsklappen, die wegen der Unterbrechung der Triebröhre nöthig sind. Beide Klappen müssen geschlossen sein. Die Austrittsklappe wird wie gewöhnlich vom Kolben selbst durch die Luft geöffnet, welche er vor sich her zusammendrückt. Zugleich wird eine andere Klappe, vor der Verbindungsröhre unter der Erde, ebenfalls durch den Wagenzug selbst geschlossen. Die Eintrittsklappe des vordern Theils der Triebröhre wird, nachdem der Kolben in die Röhre gelangt ist, durch einen Aufseher, oder besser durch den Wagenzug selbst geöffnet. (*P.* Ich habe mich schon früher über dieses Mittel geäufsert, welches ich für das angemessenste halte. Es bleibt jedoch der Übelstand, dafs man mit grofser Geschwindigkeit aus einer Röhre in die andere übergehen mufs; was schon dann nicht ohne Gefahr ist, wenn die Luft die Wagenzüge nur nach einer Richtung treibt. Mufs aber die Luft die Wagenzüge hin- und zurücktreiben, z. B. auf nur geringen Abhängen, und man hat *nur ein* Schienenpaar, so ist dieses Mittel, die horizontalen Strecken zu passiren, in so hohem Grade gefährlich, dafs es selbst versuchsweise für unausführbar zu erachten sein dürfte. In der That könnte der Aufseher die Klappen *verwechseln,* und die Klappe, die er öffnen soll, schliefsen. Alsdann würde der Kolben mit seiner ganzen Gewalt auf ein Hindernifs stofsen, und Alles würde zerbrochen werden. Diese Gefahr, welche sowohl durch die Unachtsamkeit des Aufsehers entstehen kann, als dadurch, dafs er das ihm gegebene Zeichen mifsversteht, und meint, der Wagenzug komme von dieser Seite, während er von der entgegengesetzten herkommt, darf nicht Statt finden. Auf *zwei* Schienenpaaren, oder wenn die Luft die Wagen *nur nach einer* Richtung zu treiben hat, ist das Mittel, durch die horizontalen Übergänge zu kommen, ausführbar, wiewohl nicht ohne Schwierigkeit: auf einem einzelnen Schienenpaar dagegen ist es so sehr gefährlich, dafs es für unausführbar erachtet werden mufs.)

50. Ein anderes Mittel würde darin bestehen, die Triebröhre *nicht* zu unterbrechen, sondern statt dessen zwei Abhänge von 1 auf 20 für die Wagen zu machen. Für diesen Fall würden drei Schlitze nöthig sein: zwei für die Wagenräder und der dritte für die Verbindungsstange der Wagen und des Kolbens, für die Rolle, welche die Klappe, und für den Cylinder, welcher die Verdichtungsmasse andrückt. Diese Öffnungen würden zu breit und zu tief sein, besonders die in den Schienen, als dafs sie nicht bedeckt werden müfsten. Dieses wäre leicht, durch kieferne Bohlen, welche sich vermittels Gegengewichte, entweder durch die Wagen selbst, oder durch die entgegengesetzte Bewegung der Barriere bewegen liefsen. (*P.* Dieses Mittel würde immer gefahrvoll sein, weil es auf die Bahn ein Hindernifs bringt, welches stark genug ist, Alles zu zertrümmern, falls etwa der Aufseher nicht anwesend, oder eingeschlafen sein sollte. Man schaudert, wenn man an die Anwendung dieses Mittels denkt. [Ich bekenne, dafs ich diese Beschreibung des Mittels nich verstehe. D. H.])

51. Die Absicht der Erfinder des atmosphärischen Systems ist, *nur ein* Schienenpaar zu legen; besondere Fälle ausgenommen. Dadurch glauben sie rücksichtlich der Kosten es mit den gewöhnlichen Eisenbahnen aufzunehmen. Die grofse Geschwindigkeit, mit welcher gefahren werden soll (Herr *Samuda* rechnet auf fast 13 Meilen in der Stunde), macht, dafs die Triebröhre so zu sagen stets frei bleibt. (*P.* Dieses ist eine solche Charlatanerie, dafs ihrer billig in einem amtlichen Bericht nicht erwähnt werden sollte. Die Geschwindigkeit von 13 Meilen in der Stunde beträgt etwa 85 F. in der Secunde. Die Triebkraft des Kolbens ist nach Hrn. *Mallet* 1814 Pfd.; der Nutz-Effect beträgt also 85:1814=154 190: und das ist mehr als 300 Pferde Kraft! Also glaubt man, durch eine stehende Dampfmaschine von *Hundert* Pferden Kraft *Dreihundert* Pferde Kraft an Nutz-Effect hervorbringen zu können, ohne den Verlust durch die längsaus laufende Klappe zu rechnen! Selbst 8 Meilen Geschwindigkeit lassen sich noch nicht erreichen, ohne viel stärkere stehende Maschinen.) Ich habe oben gezeigt, dafs selbst 8 Meilen Geschwindigkeit zu einer so starken Frequenz hinreicht, wie sie fast nirgends vorkommt. Aber hier findet sich ein wesentlicher Einwurf. Man sagt nemlich: Im Fall eines Unfalls auf einem *einzelnen* Schienenpaare wird Alles unterbrochen: sind *zwei* Schienenpaare für Dampfwagen vorhanden, und das eine wird schadhaft, so bedient man sich einstweilen des andern. Ich verkenne die Wichtigkeit dieses Einwurfs nicht, aber ich halte sie doch für weniger bedeutend, weil mehrere Unfälle,

die auf Dampfwagenbahnen vorkommen, auf atmosphärischen Bahnen nicht wohl Statt finden können. Es können sich z. B. Wagenzüge nicht begegnen: die Wagen können nicht wohl aus der Spur kommen u. s. w. (*P.* Die Angabe des Einwurfs ist nicht genau. Es soll heifsen: Hat eine Dampfwagenbahn *zwei* Schienenpaare, und eins davon wird schadhaft, so bleibt das andere für die Fahrten übrig und man kann sich seiner bedienen, ohne Gefahr und ohne Verzug der dem verzögerten Wagenzuge nöthigen Hülfe. [Das scheint doch so ziemlich das Nemliche wie oben. D. H.] Ich werde bei dem Einwurf nicht verweilen, da Herr *Mallet* seine Wichtigkeit selbst anerkennt. Ich bemerke blofs, dafs man Dampfwagen-Eisenbahnen nicht sowohl deshalb zwei Schienenpaare giebt, um die Fahrten, die sich auf den Bahnhöfen kreuzen, ohne Ausweichestellen verbinden zu können, sondern auch deshalb, damit der Dienst durch die Verzögerung einer Fahrt nicht unterbrochen werde, und um dem aufgehaltenen Wagenzuge zu Hülfe zu kommen.) Und woraus sollten sonst Unfälle entstehen? Aus Bosheit? Der Fall ist auch auf Dampfwagenbahnen möglich. Zwei Schienenpaare lassen sich ebensowohl sperren, als eins. Ich sehe nur noch die Achsen- oder Rad-Brüche, die aber kaum jetzt noch vorkommen; und der gebrochene Wagen läfst sich leicht von der Bahn entfernen. Es entsteht Aufenthalt dadurch; aber das Gleiche geschieht auch auf Dampfwagenbahnen, selbst wenn sie zwei Schienenpaare haben.

(*P.* Auf der Eisenbahn zwischen Paris und Versailles, auf dem linken Ufer der Seine, sind in den 3½ Jahren ihres Dienstes die Wagen nur einmal aus den Schienen gegangen, nemlich am 8ten Mai 1842. Die Wirkungen dieses einen Falles waren freilich entsetzlich. Zusammenstöfse der Wagenzüge haben *nie* Statt gefunden, und konnten nicht Statt finden, weil das eine Schienenpaar zum Hinwege, das andere zum Rückwege bestimmt ist. [Aufser wenn das eine Schienenpaar schadhaft ist und man sich einstweilen des andern allein bedienen mufs. D. H.] Die beiden Anlässe zur Unterbrechung der Fahrten, welche Herr *Mallet* nennt, sind also nur sehr selten. Es giebt aber auf jeder Eisenbahn noch viele andere Anlässe zum Aufenthalt, nemlich: Schnee; Sturm; Nebel; Glatteis; Nachlässigkeit des Dampfwagenführers; Ausströmungen aus dem Dampfkessel, die das Feuer auslöschen; Schadhaftigkeit der Maschinen; Brüche von Achsen, Schienen oder Schienenstühlen; Hindernisse auf der Bahn selbst; Erde oder Steine, die auf die Bahn gefallen sind; unrichtige Lenkung der Wagen auf einer Zwischenstation u. s. w. Alle solche Hindernisse hemmen auf einem *einzelnen* Schienenpaar die Fahrten gänzlich: sind zwei Schienen-

paare vorhanden, so findet die Unterbrechung nur auf dem einen Statt. Unter den vielen Anlässen zu Verzögerungen, wegen welcher fast überall zwei Schienenpaare zu wünschen wären [die Eisenbahn zwischen Berlin und Potsdam hat inzwischen, 3½ Meilen lang, *nur ein* Schienenpaar, und hat seit nunmehr 6 Jahren ohne alle bedeutenden Unfälle ihren Dienst gethan und jährlich 5 bis 600 Tausend Personen und darüber fortgeschafft. D. H.], sind nun aber viele, die gleichmäfsig für atmosphärische Bahnen Statt finden; nemlich diejenigen auf den Schienen selbst, zu starke Ladung, Brüche von Wagen etc. Die Schäden am Dampfwagen finden hier freilich nicht Statt, aber dagegen andere bei der bewegenden Kraft. Die stehenden Maschinen können ebenfalls schadhaft werden; die Kessel können aus Unachtsamkeit der Heizer nicht Dampf genug haben, und es kann also an Triebkraft fehlen. Die Signale können unrichtig gegeben, oder verstanden werden, die Ventile können offen, oder nicht fest verschlossen sein. Die Triebröhrenklappe kann in Unordnung kommen, oder schadhaft, also undicht werden und theilweise hergestellt werden müssen. Endlich sind die Fahrten auf den horizontalen Übergängen, wie oben bemerkt, wenn nur ein Schienenpaar vorhanden ist, überaus gefährlich. Herr *Mallet* selbst hat einige Bedenken.

Meine innige Überzeugung ist, dafs die atmosphärischen Eisenbahnen mit nur einem Schienenpaar, und mit geringen Abhängen, gefährlich und auch rücksichtlich der Kosten nicht rathsam sind.)

In dem Abschnitt von der Kosten-Vergleichung werde ich von der Möglichkeit der Ausweichestellen reden.

52. Man sagt auch: Wenn die stehenden Maschinen 1327½ Ruthen von einander entfernt sind, so kann auf diese Länge die Bahn *abwechselnd* steigen und fallen. Die Luft mufs aber so stark verdünnt werden, dafs der Wagenzug die Abhänge *ersteigen* könne. Die Kraft wird also für das *Bergabfahren* viel zu stark sein, und der Führer des Zuges hat *kein Mittel,* dem Maschinisten bei der Luftpumpe anzudeuten, dafs er das Auspumpen verzögern oder verstärken soll. Die Kraft des Dampfwagens, die man in der Gewalt hat, läfst sich nach Belieben steigern oder vermindern. Der Dampfwagen ist wie ein gelehriges Zugthier, dessen Lauf sich mäfsigen, hemmen und nach Belieben zurücklenken läfst. Dieser Einwand ist allerdings ebenfalls bedeutend. Ich erwiedere aber, dafs man durch Übung eine kaum glaubliche Geschicklichkeit erlangt, und dafs sich die Verdünnung der Luft nach dem Gewicht des Wagenzuges einrichten läfst. (*P.* Der Einwand ist von Herrn *Mallet*

sehr klar ausgesprochen, aber er ist auch nach meiner Meinung der *Haupt-Einwurf*, und *unabweisbar*. Die um 1327½ R. von einander entfernt stehenden Maschinen werden um so mehrer und stärker abwechselndes Steigen und Fallen der Bahn zwischen sich haben, je mehr man dadurch an den Baukosten hat sparen wollen. Die zum Ersteigen der Abhänge nöthige Luftverdünnung wird also immer zu dem Hinunterfahren viel zu stark sein. Und eine Täuschung ist es, wenn man bei einem *solchen* Einwande auf die Geschicklichkeit der Arbeiter rechnet.) An einigen Stellen wird man allerdings schneller fahren, als an andern: aber der Übelstand ist nicht grofs; und auch bei Dampfwagen kommt er vor. (*P.* Bei Dampfwagen wendet man beim Hinabfahren nie die volle Kraft an. Geschähe es, so würde man, auf dem Gipfel des Abhangs schon mit einer gewissen Geschwindigkeit angelangt, wenn nun die Geschwindigkeit aus doppeltem Grunde, nemlich noch durch den Abhang verstärkt wird, bald in Gefahr gerathen.) Ist die Triebkraft dem Widerstande gemäfs abgemessen, so wird die Fahrt immer regelmäfsig genug sein. Bei Dalkey, wo man allerdings zwar immer bergauf fährt, aber doch die Abhänge vom einfachen bis zum doppelten wechseln, erfolgen die Fahrten mit schweren Wagenzügen fast mit regelmäfsiger Geschwindigkeit. (*P.* Wenn man fortwährend bergauf fährt, existirt die Gefahr zu grofser Beschleunigung niemals.) Ich füge noch hinzu, dafs es unrichtig ist, zu sagen, es gäbe kein Correspondenzmittel zwischen dem Wagenzuge und dem Maschinisten an der Luftpumpe. Der Barometer, welchen der letztere vor Augen hat, zeigt ihm immer die Kraft, die auf den Kolben wirkt. Die gröfsere oder geringere Geschwindigkeit des Wagenzuges senkt und hebt das Quecksilber. Und sehr bald wird der Maschinist lernen, nach dem Barometer sich zu richten. (*P.* Wenn der Barometer den Maschinisten sollte leiten können, so müfste dieser wissen, wo in jedem Augenblick der Wagenzug sich befindet, um danach seine Maschine mehr oder weniger anzutreiben. Dies aber ist unmöglich. Und dann können die Senkungen des Barometers auch von Undichtigkeit der Längsklappe, oder von irgend einer andern Ursach herrühren.

53. Endlich sagt man, die Wagenzüge könnten nicht rückwärts gebracht werden. Aber wann ist das nöthig? Doch nur im Allgemeinen auf den *Stationen*. Der Einwand ist richtig für Anhaltstellen über der Triebröhre selbst. Aber es läfst sich nicht behaupten, dafs man nicht Mittel finden werde, auch da die Bewegung rückwärts möglich zu machen. (*P.* Es ist wohl unnöthig, die Lösung einer Schwierigkeit zu suchen, die eben so unlös-

lich als unbedeutend ist.) Man darf nur einen dazu eingerichteten Kolben machen, vor und hinter welchem die Luft verdünnt wird. Durch Zulassung von Luft kann man dann die Verdünnung auf dieser oder auf jener Seite wegschaffen. Es giebt in England eine Eisenbahn, auf welcher es unmöglich ist, rückwärts zu fahren, die von Blackwall, und man findet nicht, dafs diese Beschränkung ein Übelstand sei.

54. Ein letzter Einwand betrifft die Bewegung der Wagen auf den *Stationen.* Da es an Dampfwagen fehlt, so würde man hier nur die Kraft von Maschinen oder von Pferden zu Gebot haben. Aber sehr grofse Lasten giebt es auch nicht zu bewegen. Ein beladener Wagen wiegt nicht über 100 bis 120 Ctr., und eine Kraft von 40 bis 50 Pfd. ist hinreichend, um ihn fortzubringen. Auf die Bahnhöfe zu London und Birmingham kommt nie ein Dampfwagen.

55. Ich glaube, keinen der Einwürfe, welche man gegen die atmosphärischen Eisenbahnen zu machen pflegt, übergangen zu haben. Einige davon sind allerdings sehr bedenklich. Aber sind die Schwierigkeiten so grofs, dafs man deshalb das System aufgeben müfste? Ich glaube es nicht; und daher verlange ich einen *Versuch.* Wenn alles schon zur Vervollkommnung gebracht wäre, so wäre der Versuch unnöthig, und man hätte nur nachzuahmen, um des Erfolgs gewifs zu sein. Aber ungeachtet des grofsen Schritts, der schon in Irland geschehen ist, sind allerdings noch Vervollkommnungen nothwendig. Man erinnere sich nur daran, was anfangs die Dampfwagen waren, und welche ungemeine Vervollkommnungen sie seit 20 Jahren erfahren haben. (*P.* Auch ich verlange *einen Versuch,* blofs in Rücksicht der Schwierigkeiten, die Herr *Mallet* selbst anerkennt. Ich glaube, dafs dieser Versuch sehr einfach angestellt werden müsse, und so, dafs die Mängel vermieden werden, welche *fundamental* zu sein scheinen, und welche, selbst nach Herrn *Mallet,* sehr schwer zu heben sein werden. Man müfste mit der Vorrichtung selbst zu experimentiren anfangen: mit den Ventilen, Klappen, Kolben und Signalen. Diese Versuche müfsten auf einer starken Steigung und mit Kolben angestellt werden, für eine Bahn ohne horizontale Übergänge. Die Vorrichtung müfste sehr sorgfältig gemacht sein, um erst den guten Gang derselben zu prüfen, ehe man zu ermitteln sucht, ob diese Art von Bahnen den Kosten nach vortheilhaft sei. Das System kann für starke Abhänge gut sein; aber vielleicht kostbar. Hier angewandt hat das System viel Aussicht auf Annehmbarkeit.)

56. Ich habe weiter oben die Vortheile angedeutet, welche dem atmosphärischen System in Rücksicht der *Gefälle* eigen sein können. Die Andeutung möge hier etwas weiter ausgeführt werden. Ich bemerke zuerst, dafs die Bewegung hier nicht von der Reibung eiserner Räder auf eisernen Schienen abhängt, die man dadurch verstärkte, dafs man die Dampfwagen allmälig immer schwerer machte. (*P.* Dieses ist ein ziemlich allgemein verbreiteter Irrthum, den ich bei dieser Gelegenheit zu heben versuchen will. Allerdings machte man die Dampfwagen allmälig schwerer; aber keineswegs um die Reibung ihrer Triebräder auf den Schienen zu verstärken. Zu *diesem* Zwecke darf man ja nur das *ganze* Gewicht der Maschine benutzbar machen. Von den Dampfwagen für Personenwagen wird blofs das auf zwei Rädern ruhende Gewicht benutzt; und die Dampfwagen für Gütertransporte sind nicht schwerer, sondern man kuppelt dort zwei, oder auch alle drei Räderpaare. Am schwersten wiegen an Dampfwagen die Kessel, und diese hat man gröfser gemacht, um mehr Dampf erzeugen und geschwinder fahren zu können. Die Achsen, Räder und übrigen Theile des Dampfwagens hat man ebenfalls stärker gemacht; aber immer nicht, um mehr Reibung der Triebräder zu erlangen, sondern um die Maschinen gefahrloser zu machen.) Ein Luftkolben kann jeden Abhang hinaufsteigen; selbst senkrecht, wenn die Röhre ganz von Luft geleert ist. Hier wird also das Maafs des Abhanges, welchen der Erdboden erfordert, nur durch die Frequenz bestimmt. Nehmen wir Beispiele an. Man kann setzen, dafs eine Kraft des Kolben von 1814 Pfd. disponibel sei. (*P.* Sehen wir hier sogleich, wie es sich bei *Dampfwagen* verhält; z. B. bei denen auf der Eisenbahn zwischen Paris und Rouen, deren Herr *Mallet* weiter unten gedenkt. Die Dampfwagen für die Personenzüge haben dort Cylinder von 12,62 Zoll im Durchmesser; der Kolbenlauf ist 20,26 Zoll lang; der Durchmesser der Triebräder ist 64,23 Zoll; die Geschwindigkeit der Triebräder ist das Fünffache der des Kolbens, und die Fläche der beiden Kolben beträgt 250 Q. Z. Die Spannung des Dampfs im Kessel steigt bis zu 4 Atmosphären. Wir setzen, dafs die Wirkung desselben auf die Kolben wegen der Reibung und sonstigen Verluste an Kraft der Maschine nur 3 Atmosphären betrage. Dieses giebt 10885 Pfunde Druck und also etwa 2000 Pfd. Wirkung auf die Triebräder, mithin mehr als der Druck auf einen Kolben der atmosphärischen Eisenbahn von 15 Zoll im Durchmesser.

Bei den Maschinen zu Gütertransporten auf der Eisenbahn nach Rouen haben die Cylinder 13,76 Zoll im Durchmesser; der Kolbenlauf ist 20,26 Zoll

lang; der Durchmesser der gekuppelten Triebräder ist 52,38 Zoll. Die Geschwindigkeit derselben ist das 4,05fache derjenigen des Kolbens. Die Oberfläche der beiden Kolben ist 297 Q. Z., der Druck auf die Kolben, zu 3 Atmosphären gerechnet, beträgt 12 997 Pfd., die Zugkraft der Räder beträgt also 3200 Pfd., folglich fast doppelt so viel als die des Kolbens der atmosphärischen Bahn.)

Diese Kraft von 1814 Pfd. entspricht einer Quecksilberhöhe von 20¼ Zoll und einer Triebröhre von 15 Zoll im Durchmesser, etwa wie der bei Dalkey, nach Abzug der Reibung des Kolbens etc. Die Luft kann in 5 Minuten auf jene Verdünnung gebracht werden. Setzt man die Reibung der Räder gleich dem 250ten Theile der Last, so werden fortgebracht

4118 Ctr.	auf horizontaler Bahn;						
1804	-	auf einem	Abhange	von	1	auf	200;
1183	-	-	-	-	1	-	100;
873	-	-	-	-	1	-	66⅔;
679	-	-	-	-	1	-	50;
563	-	-	-	-	1	-	40;
485	-	-	-	-	1	-	33⅓;
388	-	-	-	-	1	-	25;
291	-	-	-	-	1	-	20.

(*P.* Aus dieser Berechnung geht deutlich die Unvortheilhaftigkeit des atmosphärischen Systems für *lange Linien* hervor. Legt man nemlich eine fortlaufende Röhre, so sind diejenigen Maafse derselben, die für gewöhnliche Gefälle ausreichen, für stärkere Gefälle unzureichend, und man mufs viel kleinere Wagenzüge nehmen. Nun aber sind es gerade die starken Gefälle, durch welche sich an den Baukosten der Eisenbahn sparen läfst: also ist die Fahrt auf einer solchen Linie *theuerer,* weil sich nur sehr kleine Wagenzüge fortschaffen lassen, für den gröfseren Theil der Länge also eine *überflüssige* Kraft verbraucht wird, die durch die Hemmschuhe wieder zerstört werden mufs. Dagegen auf einzelnen Theilen einer Eisenbahn, wo starke Steigungen nöthig und der Baukosten wegen vortheilhaft sind, das atmosphärische System angewendet, gleichsam als ein Hülfsmittel und *neben* den Dampfwagen, kann vortheilhaft sein, und es können sich dadurch grofse Anlagekosten sparen lassen, die ohne diese Hülfe, um die starken Steigungen zu vermeiden, nothwendig sein würden.)

Wo nicht besonderer Umstände wegen sehr starke Gefälle nothwendig sind, wird es gut sein, nicht über den Abhang 1 auf 40 hinauszugehen. Auf diesem Gefälle würde sich noch ein Zug von 5 Wagen auf einmal fortschaffen lassen und man würde täglich 18 Züge, 9 hin, 9 her, transportiren können; was jährlich für 300 Tausend Passagiere und 2 Millionen Ctr. Güter ausreicht. (*P.* Diese mäfsige Berechnung giebt schon weit kleinere Zahlen, als die weiter oben.) Herr *Darcy* hat diese Zahlen neulich in dem Plan zu der Eisenbahn zwischen Paris und Lyon angenommen. Da die atmosphärische Eisenbahn *nur ein* Schienenpaar haben soll, besondere Fälle ausgenommen, und also die Wagen von der Bahn so schnell als möglich entfernt werden müssen, so wird man wahrscheinlich die Güter eben so schnell als die Personen transportiren. Jeder Wagenzug würde also sowohl Güter als Personen fortschaffen; in dem Verhältnifs, wie es gerade nöthig ist.

57. Das atmosphärische System, bei welchem die Gefälle so zu sagen *beliebig* sind, giebt ganz andere Rechnungen als das Dampfwagensystem, bei welchem für die Gefälle die Bedingungen sehr strenge sind. (*P.* Herrn *Mallet*, als Inspecteur-divisionnaire und Mitglied des General-Conseils der Brücken und Strafsen, mufs bekannt sein, dafs die Regierung, und folglich das General-Conseil der Brücken und Strafsen, nur nach vielem Widerstreben auf der Eisenbahn zwischen Paris und Orleans einen Abhang von 1 auf 125 nachgegeben hat. Diese Abneigung der Regierung gegen starke Gefälle kann aber nicht auf der Unmöglichkeit beruhen, solche Abhänge mit Dampfwagen zu befahren, denn sie weifs ja, dafs zwischen Alais und Beaucaire die Dampfwagen regelmäfsig Abhänge von 1 auf $83\frac{1}{3}$ und 1 auf $66\frac{2}{3}$ ersteigen und dafs es in England Abhänge von 1 auf 40 giebt, welche von Dampfwagen befahren werden. Die Meinung ändert sich freilich täglich, und man scheint auch geneigt, von jener, nach meiner Ansicht sehr übertriebenen Strenge nachzulassen: aber gewifs ist es, dafs die bisherigen Bedingungen nicht von den Wirkungen der Dampfwagen, sondern nur von dem Willen der Regierung ausgehen.) Man wird hier jedesmal zu untersuchen haben, ob für eine bestimmte Transportmasse starke oder schwache Gefälle vortheilhafter sind. Nach Erwägung der Anlagekosten für beide Arten wird sich in jedem besonderen Fall finden, was die wenigsten Ausgaben verursacht. Aber ich habe mich hiemit nicht weiter aufzuhalten. Ich hatte nur auf einen der Hauptvortheile des atmosphärischen Systems aufmerksam zu machen und komme zu dem Gefälle von 1 auf 40 zurück.

58. Um einen solchen Abhang *hinab* zu fahren, kann man entweder den Kolben in die Triebröhre bringen, oder die Schwere allein wirken lassen. Mit dem Kolben in der Röhre wäre es immer leicht, die Geschwindigkeit durch eine Klappe und einen entgegengesetzten Kolben zu mäfsigen. Durch das Register im Kolben liefse sich die Verdünnung der Luft nach dem Erfordernifs des Abhanges einrichten. Herr *Samuda* zieht die Benutzung der blofsen Schwere vor, und würde sie auf die Weise wirken lassen, wie bei *Dalkey*. Diese bewegende Kraft kostet freilich nichts, aber man mufs dann das Hemmen zu Hülfe nehmen; und obgleich das auch allgemein geschieht, so ist doch damit immer die Gefahr von Unfällen, und sehr grofsen Unfällen verbunden, wenn die Hemmungen zerbrechen. Es sind also noch andere Mittel gegen die Gefahr beim Bergabfahren zu wünschen, ohne gleichwohl das Hemmen abzuschaffen, dessen Anwendung immer leicht und bequem ist. Man hat sich darum auch bemüht. Auf den Rampen bei Lüttich bedient man sich eines Hemmwagens, der sehr wirksam zu sein scheint und 4 beladene Wagen auf einem Abhange von 1 auf $33\frac{1}{3}$, wenn nicht aufhält, so doch in ihrem Lauf mäfsigt. (*P.* Das Hinabfahren von Abhängen, die nicht steiler als 1 auf 40 bis 1 auf $33\frac{1}{3}$ sind, hat, wenn man leicht ausführbare Vorkehrungen anwendet, keine Gefahr. [Es kommt aber doch wohl darauf an, ob die Abhänge sehr *lang* sind, und ob Krümmen darin vorkommen. D. H.] Offenbar werden solche Abhänge kein Hindernifs sein: aber von der verdünnten Luft die Wagenzüge noch hinunter *ziehen* zu lassen, würde ganz unangemessen sein, sowohl wirthschaftlich, als für die Sicherheit der Reisenden.)

59. Ein anderes Mittel würde sein, den Abhang zu *unterbrechen*, damit die Geschwindigkeit beim Hinabfahren nicht zu sehr zunehmen könne. Nimmt man z. B. 64 F. in der Secunde für die gröfste zuläfsliche Geschwindigkeit an, was etwa $9\frac{1}{2}$ Meile in der Stunde macht, so mufs ein Abhang von 1 auf 40 3120 Fufs oder 260 R. lang durchlaufen werden, um jene Geschwindigkeit zu erreichen, und man ist 77,4 F. hoch hinabgestiegen. Wenn man nemlich durch a den Abhang auf die Einheit der Länge, durch r den Bruch, welcher die Reibung der Räder vom Gewicht der Wagen ist, und durch b die Länge des Abhanges bezeichnet, auf welchem die Geschwindigkeit v erlangt wird, so wie durch $g = 15\frac{5}{8}$ F. die freie Fallhöhe in der ersten Secunde, so ist $v = 2\sqrt{(gb(a-r))}$; woraus $v^2 = 4gb(a-r)$ und $b = \frac{v^2}{4g(a-r)}$ folgt. Dieses giebt für das obige $v = 64$ und $a = \frac{1}{40}$, wenn man die Rei-

bung r wie gewöhnlich $\frac{1}{250}$ setzt, $b = \frac{64.64}{4.15\frac{5}{8}(\frac{1}{40} - \frac{1}{250})} = 3120$ F.; wie oben. Für einen Abhang von 1 auf 100 findet man $b = \frac{64.64}{4.15\frac{5}{8}(\frac{1}{100} - \frac{1}{250})} = 10922$ F. Die Wirkung der Reibung der Räder auf den Schienen bringt hier einen bedeuten Unterschied hervor. Läfst man sie aufser Acht, und setzt also $r = 0$, so ist $b = \frac{v^2}{4ga} = \frac{64.64}{4.15\frac{5}{8}.\frac{1}{40}} = 2621$ F. für einen Abhang von 1 auf 40, und $b = \frac{64.64}{4.15\frac{5}{8}.\frac{1}{100}} = 6553$ F. für einen Abhang von 1 auf 100. [Im Original steht 3400 Metres = 10833 F., was wohl ein Druckfehler ist. D. H.]

60. Eine schwer zu messende Kraft, die ebenfalls die Bewegung verzögert, ist der *Widerstand der Luft*. Herr *v. Pambor* hat eine Tafel gegeben, nach welcher sich Rechnungen darüber aufstellen liefsen. Aber die Versuche, auf welche die Tafel gegründet ist, wurden bei fast ruhiger Luft angestellt. Der Wind, seine Richtung und seine Geschwindigkeit, machen die Aufgabe so schwierig, dafs sie fast unlösbar ist. (*P.* Der Widerstand der Luft ist gröfser als nach Herrn *v. Pambour.*) Ich bemerke blofs, dafs diese Wirkungen, wie stark sie auch sein mögen, die Länge des Abhanges, an dessen Fufs 64 F. Geschwindigkeit erreicht werden, *verlängern*. [Aber wenn der Wind hinter dem Wagenzuge herweht, kann er diese Länge auch *verkürzen*. D. H.) Ich glaube, dafs man die Länge für einen Abhang von 1 auf 40, statt der obigen 3120 F., auf 3500 bis 4000 F. anschlagen kann, so dafs man also 90 bis 100 F. bergab fahren kann, ehe die Wagen eine Geschwindigkeit von 64 F. in der Secunde erreichen. Am Fufse des Abhanges müfste eine horizontale Strecke folgen, wo das Hemmen gute Dienste leisten und die Geschwindigkeit bald wieder mäfsiger werden würde. Mit Rücksicht auf das Hemmen würde für die horizontale Strecke schon eine mäfsige Länge hinreichen; und nun könnte wieder ein Abhang folgen. Die Bergflächen, längs welcher gewöhnlich in Thälern eine Eisenbahn hinlaufen mufs, begünstigen diese Anordnung. So also könnte man die Wagen auf eine ansehnliche Länge blofs durch die Schwere forttreiben lassen. Geht es an, so wird man natürlich die horizontalen Strecken bedeutend lang machen, um das Hemmen zu ersparen. Die Geschwindigkeiten würden zwar auf diese Weise sehr *verschieden* sein, aber daran liegt wenig, wenn nur die *mittlere* Geschwindigkeit dieselbe ist, wie auf dem Rest der Linie. (*P.* Diese theoretischen Voraussetzungen, selbst auf dem für sie günstigsten Terrain, würden in der Ausübung so viele Zufällig-

keiten herbeiführen, dafs die darauf gegründeten Mittel eigentlich unanwendbar sind. Man setze z. B. einen sehr heftigen Sturm, oder dafs man aus irgend einem Grunde genöthigt sei, auf einer horizontalen Strecke anzuhalten. Wie sollte man wohl von da *wieder loskommen?* Solche gänzlich willkürliche Theorieen sollten nach unserer Meinung gar nicht aufgestellt werden.) Auf eine längere Strecke würden natürlich eine oder mehrere Stationen sein. Hat man nun blofs die Schwere zur Triebkraft, so müfsten die Stationen auf die Rampen gelegt werden, so, dafs noch wieder Geschwindigkeit genug erlangt werden könne, um über die nächste horizontale Strecke zu kommen. Um auf solchen Stationen anzuhalten, würde man freilich hemmen müssen; allein dies liefse sich leicht gefahrlos einrichten. [Statt dessen dürfte man ja auch nur die Station an das *Ende* einer nicht zu langen horizontalen Strecke, also in den Anfang des neuen Abhanges legen. D. H.] Die bei dem atmosphärischen System zuläfslichen Abhänge, stärker als für Dampfwagen, veranlassen daher freilich noch mancherlei Aufgaben für die Ausübung, die nicht alle vorherzusehen sind, die sich aber ohne Zweifel lösen lassen werden.

61. Die *Triebkraft* bei dem atmosphärischen System ist das Product der Kolbenfläche in einem gewissen Theil des Drucks der Luft auf diese Fläche. Setzt man c für den bezeichnenden Bruch, den Druck der Luft $= p$, den Halbmesser des Kolbens $= r$, so ist die Triebkraft $\pi r^2 cp$. Der Widerstand ist der aus der Reibung der Räder entstehende Theil des Gewichts des Wagenzuges, wozu, wenn die Fahrt *bergauf* geht, noch derjenige Theil kommt, der dem Abhange entspricht. Ferner kommt noch die Reibung des Luftkolbens hinzu, der dem Obigen zufolge auf Einfünftheil Pfund für den Quadratzoll anzuschlagen ist. Setzt man, wie oben, den Bruch, der den Abhang ausdrückt, $= a$ und die Reibung der Räder auf die Schienen $= \frac{1}{250}$, so ist die Gleichung für das Gleichgewicht

$$\pi r^2 cp = P(\tfrac{1}{250} + a) + \tfrac{1}{5} r^2 \pi,$$

wo p und P in Pfunden und r in Zollen auszudrücken sind. Aus dieser Gleichung kann eine der drei Gröfsen r, P und a gefunden werden, wenn die beiden andern gegeben sind. (*P.* Die Reibung des Kolbens ist hier gewifs zu gering angeschlagen. Auch darf man nicht den *Widerstand der Luft* aufser Acht lassen, auf welchen so eben vorhin gerechnet wurde, um die Geschwindigkeit beim Bergabfahren zu mäfsigen. Er findet auch bei der Fahrt auf horizontalen Strecken und beim Ersteigen einer Rampe Statt und beträgt, bei 8 oder 12½ Meilen Geschwindigkeit in der Stunde, das Dreifache bis Fünffache der Reibung.) Die

obige Gleichung pafst für den Zustand des Gleichgewichts. Sie kommt bei der Berechnung der Kosten der Transportkraft zur Anwendung.

Dritter Abschnitt.

Vergleichung der Kosten von Eisenbahnen nach dem atmosphärischen System mit den Kosten derer für Dampfwagen.

62. Zu dieser Vergleichung würde eigentlich der Entwurf einer *bestimmten* Eisenbahn auf einem *gegebenen* Terrain nach beiden Systemen nöthig sein; für das atmosphärische System mit starken Abhängen und kleinen Halbmessern der Krümmen. In Ermanglung Dessen werde ich Beispiele von *ausgeführten* Eisenbahnen hernehmen und versuchen, Das, was für das atmosphärische System nöthig ist, nach Analogie und Erfahrung zu ergänzen. Die Kosten der atmosphärischen Vorrichtung selbst lassen sich ganz gut berechnen.

63. Ich nehme für die Anlagekosten die Dampfwagen-Eisenbahnen von Paris nach Orleans und nach Rouen und die von Montpellier nach Nismes zu Beispielen. [Die Reduction auf Preufsisches Maafs, Geld und Gewicht ist hier im Einzelnen gleich so gemacht worden, wie sie von Interesse sein kann; und dann sind die *Resultate* des Herrn Verfassers reducirt. D. H.]

Die Kosten von Grund und Boden haben für die Meile betragen:

Auf der Eisenbahn zwischen Paris und Orleans . . .	106 000 Thlr.,
- - - - - - Paris und Rouen . . .	72 000 -
- - - - - - Montpellier und Nismes .	60 000 -
Im Durchschnitt in runder Zahl	80 000 Thlr.

Die Erd-Arbeiten betrugen auf die Meile:

Zwischen Paris und Orleans	55 836 Sch. R.
- - Paris und Rouen	43 146 - -
- - Montpellier und Nismes . .	37 393 - -
Im Durchschnitt	45 125 Sch. R.

Die Schachtruthe Erd-Arbeit kostete nach Orleans 1 Thlr. 23½ Sgr., nach Rouen 2 Thlr., nach Nismes 1 Thlr. 21¼ Sgr., im Durchschnitt 1 Thlr. 25 Sgr. Ich rechne im Durchschnitt für die Meile Erd-Arbeiten 83 200 Thlr.

Die Brücken etc. kosteten auf die Meile nach Orleans 70 000 Thlr., nach Rouen, ohne die 4 grofsen Brücken, 50 000 Thlr., nach Nismes, ohne die Bahnbrücke bei Nismes, 64 000 Thlr. Im Durchschnitt setzen wir . . . . 62 000 Thlr.

Die Schienen sind 14,38 F. lang. Sie wiegen 20 Pfd. jede *auf den* laufenden Fufs. Der Centner Schienen kostete 4 Thlr. 20 Sgr. Jeder der 8 Schienenstühle, auf eine Schienenlänge, wog $22\frac{1}{2}$ Pfd. und der Ctr. kostete 3 Thlr. 17 Sgr. Jeder der 16 Keile wog 0,64 Pfd. und der Ctr. kostete 8 Thlr. 28 Sgr. Jeder der 8 hölzernen Keile kostete $1\frac{2}{3}$ Sgr. Jede der 4 Quer-Unterlagen ist $6\frac{1}{2}$ Zoll dick, $10\frac{1}{3}$ Zoll breit und 8 F. lang. Der Cubikfufs Holz kostete 22 Sgr. [wahrscheinlich Eichen. D. H.], mit Transport und Befestigung der Schienenstühle. Das Legen der Bahn kostete 1 Thlr. $13\frac{1}{2}$ Sgr. die Ruthe. Dieses zusammen giebt für die laufende Ruthe eines Schienenpaars . . . . 36 Thlr. 21 Sgr.

Und für 2 Schienenpaare . . . . 73 Thlr. 12 Sgr.

Hiezu kommen noch die Kosten der Sand-Unterlage (ballast). Findet man Sand oder Steine in den Abträgen, so macht man die Sandlage 23 Zoll dick. Ist aber der Sand theuer, so beschränkt man sich auf das Nothwendigste. Auf der Bahn nach Orleans ist sie nur 17 Zoll dick gemacht worden. Ich rechne dafür an Kosten auf die laufende Ruthe . 16 - — -

Für die Ausweichungen, die Kreuzungen und die Schienen auf den Bahnhöfen setze ich . . . . 14 - 21 -

Thut zusammen auf die laufende Ruthe 104 Thlr. 3 Sgr.

und auf die Meile . . . . 208 200 Thlr.

Die Bahnhöfe bleiben für beide Systeme dieselben. Die Werkstätten und Wagenhäuser kosten bei Dampfwagen-Eisenbahnen mehr als bei atmosphärischen. Sie haben auf der Eisenbahn nach Orleans 18 000 Thlr. auf die Meile gekostet. Die Barrieren sind ebenfalls bei beiden Systemen dieselben und kommen also nicht in die Vergleichsrechnung.

Auch die Bahn- und Güterwagen sind es, und es kommt also nur auf die Dampfwagen an. Auf den Bahnen nach Orleans und nach Rouen sind 60 Dampfwagen nöthig, welche mit Zubehör über 800 000 Thlr. gekostet haben, auf eine durchschnittliche Bahnlänge von 18 Meilen. Ich rechne für Dampfwagen auf die Meile . . . . 46 000 Thlr.

Zusammen also ergiebt sich folgende, *zur Vergleichung* kommende Summe:

Kosten von Grund und Boden	80 000 Thlr.,
Kosten der Erd-Arbeiten	83 200 -
Für Brücken etc.	62 000 -
Bis hierher	225 200 Thlr.

	Bis hierher	225 200 Thlr.
Für zwei Schienenpaare		208 200 -
Für Werkstätten und Wagenhäuser		18 000 -
Für Dampfwagen		46 000 -
	Thut zusammen für die Meile	497 400 Thlr.

Wollte man die *gesammten* Kosten berechnen, so müfste man noch die Kosten für Messungen, für Aufsicht, für die Bahnhöfe, Barrieren und die Personen- und Güterwagen hinzufügen. Dieselben haben auf der Strafse nach Orleans betragen . . . . 118 000 -

	Thut im Ganzen	615 400 Thlr.
oder in runder Zahl		620 000 Thlr.

Jedoch kommt nicht diese Summe, sondern nur die obige von 497 400 Thlr. zur Vergleichung. [Die von dem Herrn Verfasser genannten drei Eisenbahnen sind also in der That ungemein kostbar gewesen. D. H.]

64. Ich bemerke nun, ***Erstlich,*** dafs eine atmosphärische Eisenbahn im Allgemeinen ***nur eines*** Schienenpaares bedarf; ***Zweitens,*** dafs die Gefälle stärker sein können, bis zu 1 auf 40, und noch stärker; ***Drittens,*** dafs man die Halbmesser der Krümmungen bis auf 80 und 100 Ruthen reduciren kann. (*P.* Gegen den ersten und den dritten Punct protestire ich. Eine atmosphärische Eisenbahn mit ***nur einem*** Schienenpaar dürfte vielmehr ***gar nicht zulässlich sein;*** aus Rücksichten für die Sicherheit, die hier noch dringender sind, als bei Dampfwagenbahnen. Und für die Krümmen hat das atmosphärische System in ***keinem*** Betracht einen Vorzug, da die Halbmesser der Krümmen hauptsächlich nur durch die ***Geschwindigkeit*** bestimmt werden.)

65. Die Spurbreite der Bahn ist ganz dieselbe wie die für Dampfwagen: angenommen 4¾ Fufs. Rechnet man auf jeder Seite noch 4¾ F., so giebt das 14¼ F. Für Dampfwagen sind in der Regel 25¾ F. nöthig. Die Breite des Streifens Land, welchen die Eisenbahn nach Orleans einnimmt, beträgt 129½ F.; bei derjenigen nach Rouen 108 F., bei der Eisenbahn zwischen Nismes und Montpellier 100½ F.; thut im Durchschnitt 112½ F. Diese Breite, welche mehr als das 4fache der obigen 25¾ F. ist, kommt daher, dafs darin die Fläche zu den Böschungen der Dämme und Durchschnitte, das Terrain zur Erdgewinnung, zu den Seitenwegen, Gräben, und zu den Ausweichestellen und Stationen mitbegriffen ist. Das Meiste erfordern die oft sehr beträchtlichen Bö-

schungen; und diese kommen wieder von den grofsen Halbmessern der Krümmen und besonders von den schwachen Gefällen her. Für atmosphärische Eisenbahnen wird viel weniger Erd-Arbeit und also auch weniger Terrain nöthig sein. Man wird reichlich rechnen, wenn man für eine atmosphärische Eisenbahn zwei Fünftheile der obigen 80 000 Thlr. für *Grund und Boden* rechnet, also 32 000 Thlr.

Eine solche Eisenbahn fällt in die Cathegorie der *Chausséen;* und 32 000 Thlr. für Grund und Boden zu einer *Chaussée,* selbst wenn sie 45 F. breit wäre, würde zu viel sein.

66. Was nun für die Kosten an *Grund und Boden* gilt, gilt um so mehr von den Erd-Arbeiten; und in der Ersparung an denselben liegt ein Hauptvorzug des atmosphärischen Systems. Als ich Ober-Ingenieur des Departements der Untern-Seine war, habe ich eine Menge von Departemental-Strafsen bauen lassen. Da der Grund und Boden, Hand-Arbeit und Materialien theuer waren, glaubte ich vorschlagen zu müssen, dafs man die Breite der Strafsen auf 22½ F. beschränke. Die Strafsen wurden übrigens unter günstigen Terrainverhältnissen und mit nicht stärkern Gefällen gebaut, als 1 auf 20. Man hat die Kosten der Erd-Arbeiten zu fünf dieser Strafsen in verschiedenen Gegenden des Departements besonders berechnet. Sie beliefen sich nicht über 4000 Thlr. für die Meile. Ich werde dieses für atmosphärische Eisenbahnen nicht annehmen, da ich voraussetze, dafs die Gefälle hier nicht über 1 auf 40 betragen und die Halbmesser der Krümmen nicht unter 80 bis 100 R. lang sein sollen, sondern *gedachte* blofs jener Thatsache. Ich nehme vielmehr Rücksicht auf die schwächeren Gefälle, die sanfteren Krümmen und die gröfsere Breite der Strafse, glaube indessen reichlich zu rechnen, wenn ich den dritten Theil der obigen 83 200 Thlr. Kosten der Erd-Arbeiten zu Dampfwagen-Eisenbahnen rechne und also . . . . 28 000 Thlr. ansetze.

67. Die meisten *Brücken,* welche vorzukommen pflegen, sind die, *unter* welche die Eisenbahn hindurchgeht. Diese Brücken dürfen hier statt 17½ F. unter dem Schlufssteine, blofs 11 F. hoch sein, weil kein Schornstein der Dampfwagen hindurchfährt. Die Anfahrten der Brücken, welche Fig. 4. und 5. vorstellt, können also niedriger sein, und die Breite der Brücken reducirt sich von 23½ F. auf 11½ F. Unter diesen Umständen dürften, wie ich glaube, von den obigen 62 000 Thlr. für Brücken wohl 20 000 Thlr. abgehen und also nur anzusetzen sein . . . . 42 000 Thlr.

68. Da die *Bahnschienen* jetzt nur den Lastwagen zu widerstehen haben, so werden sie stark genug sein, wenn jede 10 Pfd. der laufende Fufs wiegt. Ein Schienenstuhl wird an 19 Pfd. Gewicht zur Genüge haben. Eiserne und hölzerne Keile bleiben wie oben. Die Quer-Unterlagen rechne ich 8 F. lang, $7\frac{3}{4}$ Zoll dick und $11\frac{1}{2}$ Zoll breit.

Hienach, zu den obigen Preisen gerechnet, ergiebt sich für die laufende Ruthe . . . . 27 Thlr. 14 Sgr.

Dazu noch für die Sand-Unterlage . . . . 6 - — -

Und für Kreuzungen und Ausweichestellen . . . 11 - 12 -

Thut für die Ruthe 44 Thlr. 26 Sgr.

Und für die Meile 89 620 Thlr.

69. Statt 18 000 Thlr. für Werkstätten setze ich, weil keine Dampfwagen vorhanden sind, ... 12 000 Thlr.

70. Die Triebröhre wiegt 130 Pfd. der laufende Fufs; der Centner kostet 3 Thlr. $17\frac{1}{2}$ Sgr. Die Ventile, die Befestigung der Röhre und die Verdichtungsmasse kostet, nach den Preisen in England, auf den laufenden Fufs 2 Thlr. $6\frac{1}{3}$ Sgr., die Wetterdecke 3 Sgr.; der Kolben auf den laufenden Fufs gerechnet 2 Sgr., die Saugröhre, zu $\frac{1}{25}$ der Länge der Triebröhre, auf den laufenden Fufs 5 Sgr. Auf den Stationen ist die Triebröhre auf wenigstens 20 Ruthen lang unterbrochen; was eine Ersparung giebt, die aber hier nicht angeschlagen werden mag. Rechnet man nach diesen Sätzen, so ergiebt sich für die Meile . . . . 160 864 Thlr.

71. Die Dampfmaschine von 100 Pferden Kraft, oder vielmehr zwei Maschinen, jede zu 50 Pferden Kraft, kosten 26 667 Thlr.; das Gebäude dazu 8000 Thlr. Man mufs etwas mehr als eine Maschine auf $1327\frac{1}{2}$ Ruthen Länge rechnen, weil immer eine mehr nöthig ist, als Bahnstrecken vorhanden sind. Setzt man also 40 000 Thlr. für $1375\frac{1}{2}$ Ruthen, so kann man auf die Meile annehmen . . . . 60 000 Thlr.

72. Zusammen also ergeben sich folgende Anlagekosten einer atmosphärischen Eisenbahn.

Für Grund und Boden	32 000 Thlr.,
Für Erd-Arbeiten	28 000 -
Für Brücken etc.	42 000 -
Für die Eisenbahn selbst	89 620 -
Für Werkstätten	12 000 -
Bis hierher	203 620 Thlr.

Bis hierher	203 620 Thlr.
Für die Lufttriebröhre mit Zubehör . . .	160 864 –
Für Dampfmaschinen	60 000 –
Thut zusammen für die Meile	424 484 Thlr.
oder in runder Zahl	430 000 Thlr.

Die Kosten einer Dampfwagen-Eisenbahn waren in runder Zahl anzunehmen zu . . . . 500 000 Thlr.

Also sind die Kosten der atmosphärischen Bahn von . 430 000 –

um 70 000 Thlr.

oder etwa den *siebenten* Theil der Kosten der ersten geringer.

(*P.* Ich enthalte mich ausführlicher Äufserungen über diese Rechnungen. Ich will blofs bemerken, dafs ich an so grofsen Ersparungen an den Erd-Arbeiten, Brücken und Terrainkosten zweifle. Auch sind Schienen, 10 Pfd. der laufende Fufs wiegend, zu schwach, und nutzen sich zu bald ab.)

Der Unterschied würde gröfser sein, wenn man die Kosten der Tunnels anschlüge, die im allgemeinen bei atmosphärischen Eisenbahnen nicht vorkommen. Auf der Eisenbahn nach Rouen haben die Tunnels 1 504 000 Thlr. gekostet; was mehr als 80 000 Thlr. auf die Meile ausmacht. Auf der Bahn nach dem Havre werden diese Kosten etwa eben so hoch sein. Nimmt man diese beiden Bahnen zur Vergleichung, so würde die Ersparung bei dem atmosphärischen System nicht blofs 70 000 Thlr., sondern an 150 000 Thlr. auf die Meile betragen.

73. Für zwei Schienenpaare, mit zwei Triebröhren, rechne ich:

Für Grund und Boden	60 000 Thlr.
Für Erd-Arbeiten	50 000 –
Für Brücken etc.	50 000 –
Für die doppelte Schienenbahn etc. . . .	163 020 –
Für die Lufttriebröhre, mit der Rücksicht, dafs die nemlichen Dampfmaschinen für beide zureichen	374 020 –
thut zusammen	697 040 Thlr.
oder in runder Zahl für die Meile	700 000 Thlr.

(*P.* Ich habe anderswo die Kosten der Lufttriebvorrichtung auf 200 000 Thlr. für die Meile geschätzt. Diese Schätzung war also nicht zu hoch, und die Folgerungen, welche ich daraus zog, waren begründet. Ich

werde darauf mit einigen Worten zurückkommen. Die Ersparungen, welche Herr *Mallet* berechnet, sind nach meiner Meinung eine Täuschung. Sie lassen sich auch bei Dampfwagen-Eisenbahnen erreichen, weil auch diese Bahnen Abhänge von 1 auf 67 und Krümmen von geringem Halbmesser haben können. Andererseits aber findet die Ersparung auf mehr ebenem Terrain *gar nicht* Statt. weil da keine Rampen von 1 auf 40 vorkommen. Die Dampfwagen-Eisenbahnen bedürfen nur Vorrichtungen, welche der Frequenz proportional sind: eine atmosphärische Bahn mufs *immer* die theure Lufttrieb-Vorrichtung haben, sie mag stark oder schwach befahren werden. Ist die Passage gering, so kostet diese Vorrichtung 10 und 12mal so viel, als die Dampfwagen. Wir behaupten also geradezu, dafs die atmosphärischen Eisenbahnen *immer theurer sind,* als die gewöhnlichen.)

74. Da man nun eingewendet hat, dafs eine atmosphärische Eisenbahn mit blofs *einem* Schienenpaar und *nur einer* Triebröhre nicht rathsam sei, so fragt sich, der wievielte Theil der ganzen Länge einer Bahn *doppelt* sein könne, ohne dafs die Kosten der Dampfwagenbahn für diese Länge überstiegen werden. Es sei a die ganze Länge der Strafse, x die Länge der doppelten Bahn, so mufs

$$430\,000(a-x)+700\,000x = 50\,000a \quad \text{oder}$$
$$43(a-x)+70x = 50a \quad \text{oder}$$
$$27x = 7a \quad \text{und folglich}$$
$$x = \tfrac{7}{27}a = 0{,}26a$$

sein. Also auf 13¼ Meilen Eisenbahn kann man 5 Stellen mit doppelter Bahn, jede von 1327½ R. lang haben, als soweit die stehenden Maschinen von einander entfernt sein sollen. Auf der 18 Meilen langen Bahn zwischen Paris und Rouen würden 7 solche Ausweichestellen möglich und jede der 8 übrigen Strecken würde 3400 Ruthen lang sein. Diese Anordnung würde ohne Zweifel allen Bedürfnissen entsprechen; und das um so mehr, da, wie ich zeigen werde, ein *einzelnes* Schienenpaar für 12 Wagenzüge täglich hin und 12 her hinreicht.

75. Bei den obigen Vergleichungen habe ich auf den Einflufs der *Gefälle* gerechnet; aber ich habe mich strenger an die Bedingungen für Dampfwagenbahnen gehalten, als es wohl in der Ausübung geschehen wird. Die atmosphärischen Bahnen, falls sie in Gebrauch kommen sollten, werden noch ein anderes Verhalten haben. Man wird mehr die Wirkung der blofsen *Schwere* benutzen. Dann wird das doppelte Schienenpaar weniger kostbar sein, weil

keine Triebröhren nöthig sind. So, verbunden mit der Möglichkeit, Ausweichestellen zu machen, wird man *überall* doppelte Bahnen haben können, wo sie nöthig sind. Es giebt Dampfwagenbahnen mit nur einem Schienenpaar, welche in dieser Rücksicht weniger gut angeordnet werden konnten, als es nach dem atmosphärischen Princip angehen dürfte, weil sich bei dem letzteren von der Gestalt des Bodens mehr Vortheil ziehen läfst. Könnte man nicht auch, wie bei Dalkey, wo die Wagenzüge 133 Ruthen Weges mit dem Kolben aufserhalb der Röhre durchlaufen, lange Unterbrechungen der Röhre haben, an deren Ende der Wagenzug wieder eine neue Röhre fände, die ihm die verlorne Geschwindigkeit zurückgäbe? Auch Das würde eine Ersparung sein. Die verschiedenen Modificationen, die noch möglich sein dürften, sind noch lange nicht alle besprochen.

Vierter Abschnitt.

Vergleichung der Kosten der Benutzung der Dampfwagen- und der atmosphärischen Eisenbahnen.

76. Ich werde die Kosten des Eisenbahnbetriebes mit Dampfwagen nicht im Einzelnen berechnen, sondern den Satz von 2 Thlr. 6$\frac{1}{4}$ Sgr. annehmen, welchen die Gesellschaft der Eisenbahn zwischen Paris und Rouen für jede Meile bezahlt, die ein Dampfwagen 12 Personenwagen, 1164 Ctr. schwer, oder 25 Güterwagen, mit 1940 Ctr. Gütern beladen, fortschafft. Dieser Satz ist das Ergebnifs der *Erfahrung,* und man kann ihn als zuverlässig betrachten, da er aus beträchtlichen Interessen hervorgegangen und mit Einsicht und Sorgfalt festgestellt ist.

77. Ich setze die Geschwindigkeit der Personenzüge 38$\frac{1}{4}$ F. in der Secunde; was etwa 5$\frac{1}{2}$ Meile in der Stunde ausmacht. Die 18 Meilen zwischen Paris und Rouen werden also in 3 Stunden 10 Minuten zurückgelegt werden. Die Fahrt dauert 4 bis 4$\frac{1}{4}$ Stunden. Die Geschwindigkeit ist demnach etwas geringer, als ich angenommen habe; auch nimmt der Aufenthalt auf den Stationen viel Zeit weg. Die Geschwindigkeit der Güterzüge setze ich halb so grofs.

Der einzelnen Bahnstrecken sind 15; also ist im Durchschnitt jede 2400 R. lang. Ich werde statt dessen 2655 Ruthen (10 000 Metres) annehmen. Die stehenden Maschinen für die atmosphärische Eisenbahn sollen um die Hälfte dieser Länge von einander entfernt sein. Ich betrachte nur eine einzelne Strecke von 2655 R. lang und nehme 24 Fahrten täglich, 12 in

jeder Richtung an. Die Hälfte davon soll Personen, die andere Hälfte Güter fortschaffen.

Die Wagenzüge für ***Personen*** bestehen, der Übereinkunft nach, aus 12 Wagen. Aber drei davon können auch Güter einnehmen. Die 9 übrigen, voll besetzt, würden 270 Personen fortschaffen. Also würden täglich 12.270 = 3240 Personen fahren können; was mehr als hinreichend ist. Güter gehen fast nur von Rouen nach Paris; die Güterwagen kehren von Paris nach Rouen beinahe leer zurück; daher der mäfsige Preis von 2 Thlr. 6¼ Sgr. für 1940 Ctr. Güter auf die Meile. Der Preis würde in der That fast das Doppelte sein (nicht ganz), weil Einiges an Gütern von Paris nach dem Havre gesendet wird. [Man sollte meinen, wenn die Güterwagen ***beladen*** zurückführen, könnte der Preis geringer sein. D. H.]

Täglich werden 11 640 Ctr. transportirt, was jährlich, mit Rücksicht auf die Ruhetage, etwa 4 Millionen Ctr. ausmacht, als soviel die in den Hafen von Rouen jährlich einlaufenden 4000 Schiffe, jedes mit 1000 Ctr. Ladung, zuführen.

Man setzt das Gewicht eines beladenen Wagens auf der Eisenbahn nach Rouen gleich 116⅓ Ctr. Jeder Güterzug von 25 Wagen, beladen von Rouen nach Paris, wiegt also 2910 Ctr. und unbeladen, von Paris nach Rouen, zu 38⅘ Ctr. der leere Wagen, 970 Ctr. Durch die 12 Fahrten [6 hin und 6 zurück] werden folglich 11 642 Ctr. Güter und ein Gewicht der Fahrzeuge von 11 642 Ctr. fortgeschafft. Der Preis für den Gütertransport ist dem des Personentransports gleich; also wird täglich auf die Strecke von 2655 Ruthen 70 Thlr. 12 Sgr. bezahlt. [Und zwar für 12 Güter- und 12 Personenzüge. D. H.]

78. Ich komme nun zu den Transportkosten auf der ***atmosphärischen*** Eisenbahn; und zwar zuerst für ***Personen.***

Ich nehme eine Triebröhre wie die bei Dalkey an, und eine Verdünnung der Luft bis auf 21¼ Zoll Quecksilberhöhe, die in 5 Minuten hervorgebracht werden kann. Dieses giebt, wie oben nachgewiesen, nach Abzug der Reibung des Kolbens etc., eine Kraft des Kolbens von 1814 Pfd.

79. Die 26 655 R. lange Bahnstrecke wird von den Dampfwagen in 13 Minuten 53 Sec. durchlaufen, wofür 14 Minuten angenommen werden mag. Der Vergleichung wegen wollen wir für die atmosphärische Bahn die Ladung und die Geschwindigkeit so annehmen, dafs die Fahrt ebenfalls etwa 14 Minuten währt. Die Geschwindigkeit wird nicht gleichförmig sein. Die gröfste Geschwindigkeit sei 54 F. in der Secunde oder etwa 8 Meilen in der Stunde. Gegen

gröſsere Geschwindigkeiten soll *gehemmt* werden. Der Druck auf den Kolben ist eine *gleichförmig beschleunigende* Kraft, ähnlich der Schwere. Nachdem die Eintrittsklappe für den Kolben geöffnet ist, nimmt derselbe, von der Ruhe ab, eine gleichförmig beschleunigte Bewegung an. Die dieselbe ausdrückenden Gleichungen sind also denen für die Schwere ähnlich. Bezeichnet man durch $2g = 31\frac{1}{4}$ F. die von der Schwere in einer Secunde hervorgebrachte Geschwindigkeit, durch k die Zunahme der Geschwindigkeit des Kolbens in einer Secunde, durch c, wie oben, den Theil, welcher der Luftdruck auf den Kolben von dem Druck der Atmosphäre ist, den Druck der Atmosphäre durch p, den Halbmesser des Kolbens durch r und die zu bewegende Last durch P, so ist die *bewegende* Kraft, welche auf den Kolben wirkt, $= \pi r^2 cp - \frac{1}{150} P$, also die *beschleunigende* Kraft $= \frac{\pi r^2 cp - \frac{1}{150} P}{P}$, und da die beschleunigende Kraft der Schwere durch 1 ausgedrückt wird und die durch verschiedene constante beschleunigende Kräfte hervorgebrachten Geschwindigkeiten sich wie die Kräfte verhalten,

$$1. \quad k = 2g . \frac{\pi r^2 cp - \frac{1}{150} P}{P}.$$

Dann ist weiter, wenn v die Geschwindigkeit des Kolbens bezeichnet,

$$2. \quad v = \sqrt{(2kl)} \quad \text{und}$$

$$3. \quad v = kt,$$

wenn l die Länge des durchlaufenen Raumes und t die Zahl der Secunden bezeichnet, welche die Bewegung gewährt hat. [Nemlich beim freien Fall ist die *beschleunigende* Kraft $= 1$. *Hier* ist die beschleunigende Kraft zufolge der Gleichung (1.) $= \frac{k}{2g}$. Von der Schwere $= 1$ getrieben, durchläuft ein Körper in der ersten Secunde den Raum g, von der beschleunigenden Kraft $\frac{k}{2g}$ getrieben also den Raum $\frac{k}{2g} . g = \frac{1}{2} k$. Nun verhalten sich die durchlaufenen Räume wie die Quadrate der Zeiten, also ist der Raum l, welchen hier die Masse, von der beschleunigenden Kraft $\frac{k}{2g}$ getrieben, in t Secunden durchläuft, $l = \frac{1}{2} t^2 k$. Andrerseits ist bekanntlich dieser Raum *die Hälfte* dessen, welchen die Masse durchlaufen haben würde, wenn sie gleichförmig die Endgeschwindigkeit v gehabt hätte; also ist auch $2l = vt$. Der erste Ausdruck von l giebt $t^2 = \frac{2l}{k}$, der zweite $t^2 = \frac{4l^2}{v^2}$. Beides einander gleich gesetzt,

giebt $\frac{2l}{k} = \frac{4l^2}{v^2}$ oder $v^2 = 2kl$ und $v = \sqrt{(2kl)}$. Dieses ist die Gleichung (2.); die Gleichung (3.) folgt *daraus*, dafs in *jeder* der t Secunden die Geschwindigkeit v um k zunimmt. D. H.]

Setzt man in (2.) die zu erlangende Geschwindigkeit $v = 54$ F. und $k = 0{,}1274$ F., so ergiebt sich aus (2.) $l = \frac{v^2}{2k} = 11\,508$ F. und aus (3.) die Zeit $t = \frac{v}{k} = 425$ Sec. Von der ganzen angenommenen Länge von 2655 R. = 31 860 F. sind noch 31 860 — 11 508 = 20 352 F. ferner zu durchlaufen. Geschieht dies mit der erlangten Geschwindigkeit von 54 F. in der Secunde, so sind dazu noch 376 Sec. nöthig, also zu der ganzen Fahrt 425 + 376 = 801 Sec. = 13 Min. 21 Sec., mithin etwa so viel als zu der Fahrt mit Dampfwagen. (*P.* Eine Kraft des Kolbens von 1814 Pfd. und eine Geschwindigkeit von 54 F. in der Secunde geben einen Nutz-Effect von 97 956, also von 193 Pferden Kraft. Diese Wirkung einer Maschine von 100 Pferden Kraft ist *unmöglich*, besonders weil die Maschine auch noch den Verlust an Wirkung durch die Undichtigkeit der Klappe zu ersetzen hat. [Allerdings, wenn die Maschine nur *eben so lange* wirkte, als die Bewegung dauert: aber sie soll auch schon *vor* dem Anfang der Bewegung wirken, um erst die Luft in der Triebröhre zu verdünnen. D. H.] Herr *Mallet* nimmt an, dafs man mit voller Geschwindigkeit eine Zwischenstation passiren solle; was aber *sehr* gefährlich sein würde. In seiner Rechnung ist nur die Reibung der Wagenräder auf der Bahn berücksichtigt; es ist aber auch noch der Widerstand der Luft zu überwinden, welcher sehr bedeutend ist.)

80. Das Gewicht, welches fortgeschafft werden kann, ergiebt sich aus der Gleichung (1.). Nemlich aus (1.) folgt $Pk = 2g(\pi r^2 cp - \frac{1}{250}P)$ und

$$4. \quad P = \frac{2g\pi r^2 cp}{k + \frac{2g}{250}} = \frac{250 g\pi r^2 cp}{125k + g}.$$

Dies giebt für das obige $k = 0{,}1274$ F., $P = 224\,102$ Pfd. = 2029 Ctr. Davon 107 Ctr. für das Gewicht des Leitwagens abgezogen, giebt ungefähr das Gewicht des Wagenzuges, welcher fortzuschaffen war. Die Gewichte der durch Dampfkraft und durch den Druck der Luft fortbewegten Wagenzüge verhalten sich also etwa wie 3 zu 5.

(*P.* Wir haben weiter oben gezeigt, dafs auf der Eisenbahn zwischen Paris und Rouen die Dampfwagen für Personenwagenzüge 2134 und diejenigen für Güterzüge 3201 Pfd. Zugkraft haben, also mehr als die Kraft des

Luftkolbens von 1814 Pfd.; folglich müssen sie auch auf einer ähnlichen Bahn mehr fortzuschaffen vermögen. Die Resultate des Herrn *Mallet* sind daher nicht richtig, und zwar, weil in seiner Rechnung der Widerstand des Windes nicht berücksichtigt ist.)

Ließe man die Beschleunigung des Luftdruckes durch die ganze Länge des Wagens fortwähren, so würde man $v = \sqrt{(2kl)} = 87$ F. finden, also eine Geschwindigkeit von etwa 13 Meilen in der Stunde. Die Zeit der Fahrt würde 708 Secunden, also nur um $801 - 701 = 93$ Secunden oder etwa um den 8ten Theil geringer sein. Dieses kommt daher, daß der größere Theil der Zeit, nemlich schon 425 Sec., nöthig ist, um die Geschwindigkeit von 54 F. zu *erlangen*. Ich werde weiterhin ein Mittel angeben, diesen Übelstand zu vermeiden. Zuvor werde ich von den Güterzügen sprechen.

80. Diese Züge würden mit ihrer Geschwindigkeit von 19 F. in der Secunde 28 Minuten brauchen, um die 2655 Ruthen Weges zurückzulegen. Ich will daher *die Hälfte* der Geschwindigkeit der Personenwagenzüge, also 27 F. Geschwindigkeit annehmen. Rechnet man danach, so muß man $k = 0{,}0319$ setzen. Dieses giebt 12 777 F. für den Raum, welcher durchlaufen werden muß, um die 27 F. Geschwindigkeit zu erlangen, und es gehören dazu 15 Min. 44 Sec. Zeit. Die übrige Länge von $31\,860 - 12\,777 = 19\,083$ F. mit 27 F. Geschwindigkeit zurückzulegen, sind noch 11 Min. 45 Sec. nöthig, also zusammen 27 Min. 29 Sec.; welches ungefähr eben so viel ist, als bei der Fahrt mit Dampfwagen. Für die Last *P*, welche fortgeschafft wird, finden sich, nach Abzug von 112 Ctr. Gewicht des Leitwagens, 3259 Ctr. Mit 12 Fahrten würden also 39 108 Ctr. fortgeschafft werden. Ich habe oben gesagt, daß die Dampfwagen 23 282 Ctr. wegbringen: also verhalten sich die beiden Transportmassen wie 3 zu 5. Zieht man Ein Drittheil für das Gewicht der Fahrzeuge ab, so ergeben sich statt der obigen 39 108 Ctr. nur 26 172 Ctr. Gütergewicht. Die Dampfwagen schaffen nur 11 642 Ctr. fort. In der Rücksicht, daß Paris auch einige Güter nach Rouen sendet, nehme ich nur das Verhältniß von 1 zu 2 an. Allerdings können die Dampfwagen 23 282 Ctr. *Güter* transportiren, aber für den oben angegebenen *Preis* nur die Hälfte. Und auf die *Kosten* kommt es hier an. (*P.* Es läßt sich nicht zugeben, daß ein Dampfwagen mit 3201 Pfd. Zugkraft weniger fortschaffen sollte, als ein Luftkolben mit 1814 Pfd. Kraft.)

81. Eine der Eigenschaften der Luftkraft ist die, *große* Geschwindigkeiten hervorbringen zu können. Aber, um Vergleichungen anstellen zu können, mußte ich annehmen, daß die Bewegung *nicht* schneller sein solle,

als die auf der Eisenbahn zwischen Paris und Rouen. (*P.* Wir haben oben bemerkt, dafs, weit entfernt die Geschwindigkeit mäfsigen zu müssen, die Dampfmaschine mit 100 Pferden Kraft *zu schwach* ist, um die Geschwindigkeit von 54 F. in der Secunde hervorzubringen.) Bei ermäfsigter Geschwindigkeit würde die Triebröhre länger gebraucht, als die Erfinder voraussetzen. Es war zu untersuchen, ob dies statthaft sei. Ich habe mich dessen versichert, indem ich in einer Tafel die Zeitpuncte der Abfahrten und der Ankunft auf den Zwischenstationen einschrieb. Ich habe aber für die Personenzüge 6 Abfahrten von den Endpuncten angenommen. Es wäre natürlich, sie von zwei zu zwei Stunden geschehen zu lassen; aber das würde nicht angehen. Die Züge würden auf den Zwischenstationen die ihnen entgegenkommenden Züge erwarten müssen. Man mufs *2½ Stunden* Zwischenzeit annehmen und, wenn der Zug z. B. um 6 Uhr von Paris abgeht, den von Rouen um 6¼ Uhr abgehen lassen. Die Züge können abgehen:

von Paris um 6, 8½, 11, 1½, 4 und 6½ Uhr,
von Rouen um 6¼, 8¾, 11¼, 1¾, 4¼ und 6¼ Uhr.

Alsdann begegnet der z. B. um 6 Uhr von Paris abgehende Zug dem Zuge, welcher von Rouen um 6¼ abging, auf der 9ten Station von Paris, um 8 Uhr, und dem Zuge, welcher um 8¾ Uhr von Rouen abging, auf der 14ten Station, um 9¼ Uhr. Der um 8½ Uhr von Paris abgehende Zug begegnet dem Zuge, welcher von Rouen um 6¼ Uhr abgeht, auf der 4ten Station, um 9¼ Uhr, und dem um 8¾ Uhr von Rouen abgehenden Zuge auf der 9ten Station, um 10½ Uhr u. s. w. In den Zwischenzeiten kann man die Güterzüge abgehen lassen, aber es ist im allgemeinen nicht nöthig, dafs diese Züge zu *bestimmten* Stunden ankommen; sie können auf den Stationen warten, bis die Röhren frei sind. (*P.* Dieses würde einen sehr schwierigen Dienst geben und grofsen Aufenthalt verursachen.)

Jede Röhrenstrecke würde von den 12 Wagenzügen, die mit der *gröfseren* Geschwindigkeit sich bewegen, während $12.15 = 180$ Minuten $=$ 3 Stunden benutzt werden, und von den 12 Zügen mit *geringerer* Geschwindigkeit während $12.30 = 360$ Min. $=$ 6 Stunden. Man sieht also, dafs noch Zeit übrig bleibt, und dafs durch eine einzelne Röhre zwischen Paris und Rouen noch mehr fortgeschafft werden kann als oben angenommen wurde.

82. Ich sagte oben, dafs ich ein Mittel angeben würde, um die Langsamkeit zu vermeiden, mit welcher die 54 F. Geschwindigkeit erreicht werden. Dieses Mittel würde eine *abhängige* Bahnstrecke bei jeder Station sein. Meistens wird das Terrain dazu günstig sein. Wäre es dies aber nicht, so

würde es doch noch vortheilhaft sein, den Abhang zu *machen*. Er würde von 1 auf 40, nur auf eine geringe Länge, etwa von 500 F., nöthig sein, folglich nur etwa 12½ F. hoch. Die obige Gleichung (1.) verwandelt sich dann in

$$5. \quad k = 2g.\frac{\pi r^2 cp - \frac{1}{280}P + \frac{1}{40}P}{P},$$

und das giebt für $P = 2029$ Ctr., $k = 0{,}924$ F., für $l = 500$ F., $v = 31\frac{1}{2}$ F. und $t = 33$ Sec., so dafs am Fufse des Abhanges in 33 Sec. schon 31½ F. Geschwindigkeit erlangt sind. Vom Fufse des Abhanges an, auf der horizontalen Bahn, ist wie oben $k = 0{,}1274$ F. und, um nun weiter 54 F. Geschwindigkeit zu erreichen, ist L in

$$6. \quad 2kL = v^2 - v_0^2$$

die nöthige Länge, wenn man $v = 54$ und $v_0 = 31\frac{1}{2}$ F. setzt. Dieses giebt $L = 7813$ und die dazu nöthige Zeit

$$7. \quad t = \frac{v - v_0}{k} = 184 \text{ Sec.}$$

Die gesammte Zeit ist also bis hieher 33 + 184 = 217 Sec. = 3 Min. 37 Sec. und der durchlaufene Raum 7813 + 500 = 8313 F. Wäre die Bahn ohne den Abhang, also durchweg horizontal, so wären 7 Min. 5 Sec. Zeit nöthig, um 54 F. Geschwindigkeit zu erlangen. Hier ist der Einflufs des Abhanges von 500 R. lang nicht sehr bedeutend, und dies rührt von dem Gewicht des Wagenzuges her. Wöge derselbe z. B. nur etwa 600 Ctr., so würden 54 F. Geschwindigkeit schon nach 1434 F. durchlaufenem Raum und in 45 Secunden erreicht werden.

83. Man könnte wissen wollen, in wiefern die obigen Gleichungen zu den Ergebnissen der Versuche bei Dalkey passen. Ich habe gesagt, dafs man dort mit einem Wagenzuge von 749 Ctr. schwer in den Krümmen 8½ bis 9½ Meile auf die Stunde zurücklegte. Die Kraft war 2134 Pfd.; aber man erstieg einen Abhang von 1 auf 111. Es findet sich, dafs nach 4142 bis 4460 F. durchlaufenem Raum die obige Geschwindigkeit erreicht werden mufste.

84. Für die nun folgende Berechnung der *Kosten* der Transportkraft auf der atmosphärischen Eisenbahn bemerke ich zuerst, dafs von den 3 Dampfmaschinen für 2655 R. Bahn nur zwei in Bewegung kommen. Für die Abfahrt des ersten Wagenzuges ruht die Maschine am Endpuncte. Die Maschinen in der Mitte und die am Ausgangspuncte arbeiten 5 Minuten lang, um die Luft zu verdünnen, 7 Minuten *während* der Fahrt der Personenzüge und 14 Minuten *während* der Fahrt der Güterzüge. Bei den zurückkommenden Zügen

ruht die Maschine an den ersten Stationen, und die beiden andern werden in Bewegung gesetzt. Während eines Tages also arbeitet die Maschine in der Mitte 144 Minuten für die Personenzüge und 228 Minuten für die Güterzüge, zusammen also 372 Minuten oder 6 St. und 12 Min. Die beiden andern Maschinen *zusammen* haben eben so lange gearbeitet. Also kommen auf 2655 R. Bahn 12 St. 24 M. Arbeitszeit *einer* Maschine; wofür ich, mit Einschluſs der Zeit zum Heizen und zur Erhaltung des Feuers während der Ruhe, 16 St. annehme.

85. Die Maschine zu Dalkey braucht 4,802 Pfd. Kohlen in der Stunde auf Eine Pferdekraft, also für die 100 Pferdekraft in 16 Stunden 7684 Pfd. oder 70 Ctr. Kohlen.

Der Ctr. Kohlen kostet etwa $16\frac{1}{2}$ Sgr. (Bei den Maschinen zu Chaillot und Gros-Caillou bezahlt man etwa $14\frac{1}{2}$ Sgr.) Dies thut 38 Thlr. 12 Sgr.

Dazu kommt: Für zwei Maschinisten	3	-	6	-
Für zwei Heizer	1	-	18	-
Für Öl, Talg, Hanf etc.	4	-	8	-
Für einen Wagenführer	1	-	10	-
Für Leder zum Kolben	—	-	24	-
Für die Verdichtungsmasse der Luftröhre	—	-	24	-
Zinsen der Anlagekosten der Maschine, Abnutzung derselben etc., zu $7\frac{1}{2}$ pr. C.,	10	-	28	-
Thut zusammen	61	Thlr.	10	Sgr.

86. Um diese Kosten auf die Personen- und die Güterzüge verhältniſsmäſsig zu vertheilen, erinnere man sich, daſs von den obigen 12 St. 24 Min. 4 St. 48 Min. auf die Personenzüge und 7 St. 36 Min. auf die Güterzüge kommen. Da sich diese Zahlen wie 5 zu 8 verhalten, so kommen von den 61 Thlr. 10 Sgr.

Auf die Personenzüge	23	Thlr.	18	Sgr.
Und auf die Güterzüge	37	-	22	-
Thut	61	Thlr.	10	Sgr.

Dafür sind durch die 12 Fahrten 23 283 Ctr., das Gewicht der Wagen und von wenigstens 6000 Personen 2655 R. weit fortgeschafft worden. Dies thut für den Centner $\frac{23 \text{ Thlr. } 18 \text{ Sgr.}}{23\,284} = 0{,}365$ Spf. Mit Dampfwagen sind die Kosten für den Centner 0,916 Spf. Für die Güter findet sich, da die Luftkraft 23283 Ctr., die Dampfkraft aber nur die Hälfte fortbringt, 0,584 Spf. für den Ctr. Transportkosten mit Luftkraft und 1,140 Spf. mit Dampfkraft.

86. Hier ist nun aber eine Berücksichtigung nöthig. Die Eisenbahn nach Rouen hat nemlich ***sehr günstige Gefälle.*** Einige derselben betragen 1 auf 333, aber die meisten sind nicht steiler als 1 auf 500. Die obigen Rechnungen setzen die Bahn ***horizontal*** voraus. Es wäre zu viel, ***durchgehends*** eine Steigung von 1 auf 333 anzunehmen, aber ich will ***durchgehends*** 1 auf 500 annehmen. Ich setze dadurch gewifs nicht zu wenig voraus, denn, wie oben gezeigt, ist die Triebkraft fast überall überschüssig und mufs ermäfsigt werden. Statt sie durch Hemmen theilweise zu vernichten, wäre es gewifs besser, damit Abhänge zu ersteigen. Jedenfalls will ich das vorhin genannte Gefälle annehmen und danach die Resultate ermäfsigen.

87. Die Triebkraft von 1814 Pfd. zieht auf ***horizontaler*** Bahn $\frac{1814.250}{110} = 4123$ Ctr. fort und auf einen Abhang von 1 auf 500, $\frac{1814}{110(\frac{1}{500}+\frac{1}{250})} = \frac{1814.500.250}{110.750} = 2749$ Ctr. Da sich diese beiden Zahlen wie 3 zu 2 verhalten, so erhält man statt der obigen 0,365 Spf. für den Personentransport $\frac{3}{2}.0{,}365 = 0{,}547$ Spf. und statt der 0,584 Spf. für den Gütertransport $\frac{3}{2}.0{,}584 = 0{,}876$ Spf. Die 0,547 Spf. sind gerade drei Fünftheile von den 0,916 Spf. der Transportkosten durch Dampfwagen: also folgt, dafs der Transport der Personen auf der atmosphärischen Eisenbahn zwei Fünftheile weniger kostet, als der durch Dampfwagen. Bei dem Frachttransport verhalten sich die Kosten wie 4 zu 5, und es wird also Ein Fünftheil erspart.

(*P.* Bei diesen Rechnungen dürften mehrere Berichtigungen nöthig sein.

Erstlich nemlich ist die Triebkraft des Luftkolbens in einer Röhre von 15 Zoll im Durchmesser ***geringer,*** als die von Dampfwagen, und die Luftkraft bringt durch einen solchen Kolben nicht mehr Lasten fort, als die Dampfkraft.

Zweitens. Man darf die Kosten des Transports nicht nach ***Personen*** berechnen, sondern mufs die Kosten des Transports von ***Wagenzügen*** suchen; denn die Zahl der Reisenden steht nicht in dem Willen der Eigenthümer der Eisenbahn und ist immer geringer als die, welche die Bahn fortschaffen ***könnte.***

Drittens. Statt, wie Herr ***Mallet*** thut, einen durchgängigen Abhang von 1 auf 333 oder 1 auf 250 anzunehmen, müfste man für die atmosphärischen Eisenbahnen auf einen Abhang von 1 auf 40 rechnen. Nachdem man eine so grofse Ersparung an den Anlagekosten durch die Möglichkeit starker Gefälle vorausgesetzt hat, sollte man auch auf Wagenzüge rechnen, die diesen Gefällen angemessen sind; und dann sind nicht Personenwagenzüge von 1940 Ctr.

und Frachtwagenzüge von 3299 Ctr. schwer, sondern nur Züge von 563 Ctr. schwer anzusetzen; welches nach der obigen Berechnungs-Art die 3fachen Transportkosten giebt. [Allerdings, wenn in der Bahn wirklich Abhänge von 1 auf 40 vorkommen; dann mufs allerdings die Triebkraft für diese Abhänge vorhanden sein; und zwar ist es, da die Kraft auf der atmosphärischen Bahn, anders wie auf der Dampfwagenbahn, *immer gleich stark* ist, so, als wenn der Abhang von 1 auf 40 *durchweg* vorhanden wäre. Aber wenn *nicht* so starke Abhänge vorkommen, ist auch nicht darauf zu rechnen. D. H.]

Viertens. Herr *Mallet* rechnet auf 24 Wagenzüge täglich, während auf der Eisenbahn zwischen Paris und Rouen nur 12 bis 14 täglich vorkommen. Die Kosten des *Dampfwagen*-Transports verhalten sich ganz wie die Zahlen der Wagenzüge: die Kosten der *Luftkraft* dagegen nehmen, weil die Maschinen, welche sie hervorbringen, bleiben, nicht ganz in diesem Verhältnifs ab. [Die Maschinen, welche die Dampfkraft erfordert, bleiben auch dieselben; aber freilich ist hier nicht auch noch die kostbare Triebröhre vorhanden. D. H.])

88. Ich habe 24 Wagenzüge täglich angenommen; was nicht zu viel ist. Jetzt bewegen sich zwischen Paris und Rouen, mit den Wagen von Mantes her, täglich wenigstens 12 Personenzüge und 6 Güterzüge, also in allem 18 bis 20. Von London nach Brighton und zurück fahren täglich 18, nach Southampton 24, auf der Grand-junction Eisenbahn 22, von London nach Birmingham und zurück 26, zwischen Dublin und Kingstown 28, zwischen Paris und Versailles, auf dem linken, wie auf dem rechten Ufer der Seine, ebenfalls 28. Die zuletzt genannten Eisenbahnen machen freilich Ausnahmen. Aber wenn ich auch weniger Wagenzüge angenommen hätte, würden die Ergebnisse der Rechnung doch ungefähr die nemlichen geblieben sein, und es wäre noch leichter gewesen, nachzuweisen, dafs ein einzelnes Schienenpaar hinreichend ist. Man darf indessen bei den Voraussetzungen niemals das Maafs überschreiten, für welches überhaupt nur noch eine Eisenbahn, möge sie durch Dampfkraft oder durch Luftkraft befahren werden, die Zinsen und Kosten einbringt.

(*P.* Man erlaube uns hier, unsere Berechnung für 8 Wagenzüge herzusetzen. Wir nehmen eine Bahn von 26 550 Ruthen (100 Kilom.) lang an.

1. Die Transportkosten *durch Dampfwagen* sind folgende.

Es werden 7 Dampfwagen geheizt, und davon 3 zur Reserve, während 24 Stunden. Sie stehen 148 Stunden still und sind 20 Stunden in Bewegung. Es sind 14 Maschinisten und Heizer nöthig. Die Maschinen durchlaufen jähr-

lich 39 875 Meilen. Die Maschinen kosten . . . . 320 000 Thlr.

Die Zugkraft für 39 875 Meilen beträgt, zu 2 Thlr. 6¼ Sgr., 88 000 –

Für Zinsen und Amortisation des Anlage-Capitals, zu 6 pr. C., ... 19 280 –

Thut zusammen jährlich 107 200 Thlr.

2. Zum Transport durch *Luftkraft* sind 21 stehende Maschinen zu heizen, welche jede etwa 1¾ Stunden arbeiten müssen. Die Maschinen sind also etwa 37 Stunden in Bewegung und stehen die übrigen 467 Stunden still. Es sind 42 Maschinisten und Heizer, 4 Wagenführer und mehr als 110 Bahnwärter wegen der Triebröhre und ihrer Klappen nöthig. Die Anlagekosten für die bewegende Kraft betragen für ein Schienenpaar 2 933 333 Thlr. Die jährlichen Kosten der Transportkraft sind folgende.

Für Brennstoff 534 Pfd. Kohlen für jede Maschine auf die Stunde Bewegung, und 43 Pfd. auf die Stunde Ruhe, thut 131 038 Ctr., zu etwa 16½ Sgr., 73 067 Thlr.

Erhaltung und Wartung von 21 Maschinen, zu 2866 Thlr. 20 Sgr., ... 39 200 –

Zur Aufsicht und Erhaltung der Triebröhre 120 Personen, zu 400 Thlr., ... 48 000 –

Für die Leitwagen etc. . . . . 5 066 –

Thut zusammen an Transportkosten 165 333 Thlr.

Hiezu für Zinsen und Amortisation des Anlage-Capitals von 2 933 333 Thlr., zu 6 pr. C., ... 176 000 –

Thut an gesammten Kosten jährlich 341 333 Thlr.

Also kostet der Transport durch Luftkraft *dreimal so viel,* als der durch Dampfkraft. Der Unterschied nimmt freilich ab, so wie die Frequenz zunimmt: aber die *Gleichheit* der Kosten wird erst durch eine Transportmasse erreicht, die alle Wahrscheinlichkeit übersteigt.

Ich habe hier *nur ein Schienenpaar und nur eine Triebröhre* angenommen, aber ich gebe gar nicht zu, dafs eine atmosphärische Eisenbahn mit *nur einer* Triebröhre practicabel ist, sobald sich darauf Wagenzüge *hin- und zurück* bewegen sollen.)

89. In der Wirklichkeit sind zwar die Wagenzüge bei weitem nicht immer voll beladen, aber ich wiederhole, dafs ich nur *vergleichende* Rechnungen habe anstellen wollen, und dafs ich *deshalb* für beide Arten von Eisenbahnen *gleiche* Umstände annahm und so auf das *Maximum* ihrer Leistungen

rechnete. Gewöhnlich fahren mit einem Wagenzuge nur 80 bis 100 Personen, und so ist die Ersparung, welche oben gefunden wurde, ein *Minimum*. Denn die Bezahlung für einen Wagenzug mit Dampfkraft auf der Eisenbahn zwischen Paris und Rouen ist die nemliche, er mag viel oder wenig Personen fortschaffen, während sich auf der atmosphärischen Eisenbahn die Triebkraft nach der fortzuschaffenden Ladung ermäfsigen läfst. Es wird z. B. in der Regel eine Quecksilberhöhe von 12 bis 13 Zoll zureichen, und diese läfst sich in 2 Minuten hervorbringen; man erspart also 3 Minuten für jede Maschine und für jeden Wagenzug. (*P.* Wie es mir scheint, verhält es hier gerade umgekehrt.)

90. Es wäre noch die Frage, in welchen Fällen es vortheilhaft sein dürfte, auf *schon vorhandenen* Eisenbahnen die Luftkraft statt der Dampfkraft zu benutzen. Es würde sich ohne Schwierigkeit eine Triebröhre zwischen die Schienen legen lassen. Auf den Bahnhöfen, auf den Stationen, und sonst im Dienst, würde sich nichts ändern. Die horizontalen Strecken würden bleiben, wie sie sind. Blofs die Brücken über die Eisenbahn hinweg, so wie die Tunnels, würden höher sein, als nöthig ist. Die Dampfwagen und ein Theil der Schienen würden verkauft werden können. Die Quer-Unterlagehölzer würde man aufbewahren; denn es ist kein Vortheil bei der Veräufserung derselben; auch würde ich nicht vorschlagen, *alle* überflüssig gewordenen Schienen zu verkaufen; [Der Herr Verfasser spricht wahrscheinlich von den jetzigen Eisenbahnen, die *zwei* Schienenpaare haben. D. H.], sondern ich würde einen Theil davon, etwa den vierten, zu Ausweichestellen zurückbehalten. Für Dampfwagen ist auf die Meile 46 000 Thlr. gerechnet worden. Ich nehme an, dafs man aus diesen Wagen nur 24 000 Thlr. löse, weil die Maschinen nicht mehr neu sind und man vielleicht nicht Käufer genug findet. Die Schienen und Schienenstühle würden vielleicht ebenfalls nur etwa die Hälfte Dessen einbringen, was sie gekostet haben. Ich setze also, man löse überhaupt für die Meile nur etwa . . . . 48 000 Thlr.

Die Anlagekosten der Triebröhre etc. betragen auf die Meile in runder Zahl		220 000 Thlr.
Dazu noch für Ausweichestellen		38 000 -
	Thut	258 000 Thlr.
Abgezogen hievon die obigen		48 000 -
	Bleiben	210 000 Thlr.
Die Zinsen davon zu 5 pr. C. sind		10 500 Thlr.

91. Ich nehme nun an, die Eisenbahn sei blofs zum *Personentransport* bestimmt. Es wird der Fahrpreis zu bestimmen sein. In dem Bericht des Herrn *Talabot* vom Jahre 1842 finde ich, dafs auf der Eisenbahn im Gard-Departement 8 Spf. für die Meile bezahlt worden sind. Bei Paris werden die Fahrkosten theuerer sein, weil es der Brennstoff ist; und auf diese Gegend rechne ich. Setzt man 80 Personen für jeden Wagenzug, für welchen auf der Eisenbahn nach Rouen 2 Thlr. 6 Sgr. bezahlt werden, so macht dies für die Person etwa 10 Spf. Die Kosten auf der atmosphärischen Eisenbahn werden $\frac{3}{5}$ davon, also 6 Spf. sein, folglich 4 Spf. weniger. Um die obigen Zinsen von 10500 Thlr. zu decken, sind also etwa 1 Million Passagiere nöthig. Die Umänderung einer Dampfwagen-Eisenbahn in eine atmosphärische würde also nur da rathsam sein, wo eine Frequenz Statt findet, wie zwischen Paris und Versailles. Wollte man die *Ausweichestellen* weglassen, so würde eine Frequenz von etwa 750 Tausend Personen nöthig sein. Es folgt daraus, dafs die Fälle, wo die Umänderung einer Dampfwagen-Eisenbahn in eine atmosphärische vortheilhaft sein würde, nur sehr selten sind. Die beiden Systeme schliefsen einander gänzlich aus. Es kommt nur darauf an, ob das Luftdrucksystem überhaupt rathsam sei; denn alsdann mufs man andere Regeln als die bisherigen für die Gefälle annehmen.

92. Es giebt aber noch einen andern Fall: nemlich den der Bahnen, deren *Dämme* fertig und zu welchen die Schienen noch nicht gelegt sind. Hier kostet die Meile Dampfwagenbahn 258000 Thlr., die Meile atmosphärische Bahn mit einem Schienenpaar 312000 Thaler, und mit zwei Schienenpaaren, auf ein Viertel der Länge, 380000 Thlr. In dem ersten Fall also kostet die Luftdruckbahn 54000 Thlr. mehr, und um die Zinsen davon aufzubringen sind 245500 Passagiere nöthig; im zweiten Fall 122000 Thlr. mehr, und dazu sind 550000 Passagiere erforderlich. Es ist also ungefähr *gleich*, auf welche Art man Eisenbahnen, deren Dämme fertig sind, vollendet. Von den 245000 Passagieren (was eine gewöhnliche Frequenz ist) wird vorausgesetzt, dafs sie die *ganze* Linie befahren. Die 550000 Passagiere, unter eben dieser Bedingung, sind schon ein aufsergewöhnlicher Fall. Man kann also die angefangenen Eisenbahnen ohne Nachtheil für Dampfkraft vollenden. [Indessen wird doch unmöglich von den *Kosten allein* die Rede sein können. Auch die *Sicherheit der Personen* dürfte in Betracht kommen. D. H.]

93. Ich erachte mich weit entfernt, den Beweis gegeben zu haben, dafs das atmosphärische System auf Bahnen *von beliebiger Länge* anwend-

bar sei. Die Lösung der Frage ist noch nicht so weit gediehen; aber die Wahrscheinlichkeit schon macht es nothwendig, dafs die Regierung dem neuen Systeme ihre Aufmerksamkeit zuwende. Nimmt man an, dafs die Baukosten beider Arten von Eisenbahnen *dieselben* sind, so ist es wenigstens nicht zweifelhaft, dafs die Transportkosten auf der atmosphärischen Bahn diejenigen auf der Dampfwagenbahn nicht erreichen. Ich habe dies durch Berechnungen zu erweisen gesucht, aber es ist auch fast ohne Rechnung klar: denn man hat hier nicht das ungeheuer grofse Gewicht des Dampfwagens und des Tenders fortzuschaffen, welches öfters ein Drittheil, zuweilen die Hälfte des Gewichts des Wagenzuges ausmacht; was schon auf schwachen Gefällen fast die ganze Dampfkraft wegnimmt. [Man überlasse sich doch ja nicht *solchen* Erwägungen. Sie täuschen gar sehr. Nur Versuche und Erfahrungen in möglichst grofsem Maafsstabe können allein entscheiden. D. H.]

94. Ein anderer Vortheil der atmosphärischen Bahn ist die *Geschwindigkeit*. Wie theuer sie mit Dampfkraft sei, ist bekannt. Durch die Luftdruck-Vorrichtung wird sie gleichsam von selbst hervorgebracht. [! Wieder eine solche Aufstellung. D. H.] Ich weifs wohl, dafs die *Zeit* in Frankreich noch nicht so kostbar ist, als in England: aber das Reisen mit sehr grofser Geschwindigkeit wird sie uns schätzen lehren. Was sind jetzt schon die Eilwagen gegen die Eisenbahnen!

95. Ich wiederhole nicht die übrigen Vorzüge des atmosphärischen Systems. Ich glaube mich darüber hinreichend verbreitet zu haben, um einen *Versuch* verlangen zu dürfen; welches Verlangen ich hier am Schlufs wiederhole. Wie und wo derselbe zu machen sei, hat die Regierung zu bestimmen. Wird der Versuch beschlossen, so werden die zu erfüllenden Bedingungen genau im Voraus zu bestimmen sein.

Hiemit glaube ich den mir gegebenen Auftrag erfüllt zu haben. Ich verhehle mir nicht die Wichtigkeit desselben, und hätte nur gewünscht, dafs meine Fähigkeit dem guten Willen und der Gewissenhaftigkeit, mit welcher ich meine Äufserungen aufgestellt habe, entspräche. Ich habe Alles, was ich vermag, gethan, um diesen Bericht so vollständig zu machen, als möglich; allein wahrscheinlich habe ich noch eine Menge von Erwägungen übergangen. Die Neuheit des Gegenstandes und der Wunsch, die Resultate meiner Sendung *bald* zu überliefern, werden mich in diesem Punct entschuldigen.

Paris, den 10ten Januar 1844. *Mallet.*

Einige andere Vorschläge zur Bewegung von Lasten auf Eisenbahnen, anders als durch Dampfkraft.

I. *Triebröhre des Herrn Hallette für sogenannte atmosphärische Eisenbahnen.*

(Aus dem „Journal des chemins de fer" von 1844 No. 8.)

[Die im Eingange gedachte offenbare Unvollkommenheit der Vorrichtung, die längsauslaufende Klappe der Triebröhre auf der Dubliner Eisenbahn zu öffnen und luftdicht zu verschliefsen, hat nothwendig Bestrebungen veranlassen müssen, eine andere, bessere Vorrichtung zu erfinden. Herr *Hallette*, einer der vorzüglichsten Maschinenbauer in Paris, schlägt eine Vorrichtung vor, die sich durch ihre Einfachheit sehr empfiehlt. Das oben genannte Journal beschreibt dieselbe wie folgt. D. H.]

Statt der längsauslaufenden ledernen, durch eiserne Schienen verstärkten Klappe, die an einer Seite des Schlitzes der Triebröhre frei, an der andern fest, und die bestimmt ist, der Stange, welche den Luftkolben mit dem vordersten Wagen in Verbindung setzt, den Durchgang aus dem Innern der Röhre nach Aufsen zu gewähren, bedient sich Herr *Hallette* der *Elasticität der Luft*, um den Schlitz der Triebröhre unter den hier nothwendigen Bedingungen zu verschliefsen. Er bringt oben an der Triebröhre an den Rändern des Schlitzes der Länge nach zwei halbe Cylinder oder Röhren an, die gegen einander gekehrt sind (Taf. VII. Fig. 25. und 26.). In diese hohlen Cylinder legen sich zwei luft- und wasserdichte Röhren aus einem biegsamen Stoffe. So wie diese Röhren stark genug durch Luft aufgeblasen sind, *berühren* sie sich wechselseitig mit einem Theile ihrer äufsern Flächen, gleich den Lippen des menschlichen Mundes, und verschliefsen dadurch der äufsern Luft vollkommen den Eingang in das Innere der Röhre. Bewegt sich nun der Kolben in der Röhre vorwärts, so gleitet die Stange, welche ihn mit dem vordersten Wagen verbindet, zwischen diese Lippen hindurch, die sich unmittelbar hinter ihm wieder schliefsen. Die Stange, deren horizontaler Querschnitt der eines an beiden Seiten convexen Linsenglases (ménisque) ist, und die auf diese Weise, vorn und hinten keilförmig, zwischen die Lippen hindurch gleitet, bringt keine bedeutende Reibung hervor. Um die Lippenröhren dauerhafter zu machen, belegt sie Herr

10 *

Hallette, so weit sie sich berühren, mit Leder. Er schlägt auch vor, mit diesem Mittel den Luftdruck zur Bewegung der Schiffe auf Strömen und Canälen zu benutzen.

Herr *Hallette*, indem er die zahlreichen Vorzüge des atmosphärischen Systems aufzählt, berührt auch den Fall, wenn man die Eisenbahnen unmittelbar auf die Bankette der Chausséen legen wollte; welche Aufgabe noch zu lösen wäre; ungeachtet der Veränderungen die er vorschlägt, und die er natürlich sehr anrühmt. Was uns besonders in dem Aufsatz des Herrn *Halette* interessirt, ist sein Anerbieten, eine atmosphärische Eisenbahn für 460 000 Thlr. die Meile zu bauen; welche Summe er wie folgt berechnet.

Für Erd-Arbeiten, Unterlagehölzer, Schienenstühle und Schienen	72 000	Thlr.
Für die Bahnhöfe und andere Bauwerke	20 000	-
Für die Triebröhre, mit Zubehör, ...	320 000	-
Für die Dampfmaschinen und Luftpumpen, etwa auf jede Meile eine, ...	25 000	-
Für Fahrzeuge	20 000	-
Zusammen	457 000	Thlr.

Herr *Hallette* verlangt für seine Erfindung nur 10 pro cent Dessen, was, wenn man nach seiner Art baut, an 600 Tausend Thaler auf die Meile erspart wird, welche Summe jetzt kaum in den günstigsten Fällen zureicht; und das erweckt zu seinem Vorschlage Vertrauen. Hier also, wenn irgendwo, ist ein Versuch im Grofsen zu wünschen; und zwar durch einen Maschinenbauer, der solche Proben seiner Kunst abgelegt hat, wie Herr *Hallette*.

Ungeachtet der zahlreichen Veränderungen, welche Herr *Hallette* vorschlägt, finden wir uns indessen doch noch nicht zu dem atmosphärischen System bekehrt, sondern erwarten erst den so lange verheifsenen Bericht des Herrn *Mallet*. [Diese Notiz wegen des *Hallette*schen Systems ist *früher* in dem Journal gedruckt, als der Bericht des Herrn *Mallet*. D. H.] Herr *Hallette* hat sich jedenfalls ein Verdienst um sein Vaterland erworben, durch seine Bemühung, ein System zu vervollkommnen, von welchem er Vortheil und gröfsere Sicherheit für die Transporte auf Eisenbahnen erwartet. [Wie manches solches Verdienst bleibt unbeachtet! D. H.]

Wir geben hier die Zeichnungen der alten und der neuen Art der Triebröhre (Taf. VII. Fig. 24—26.). [Die Figuren in dem Journal sind recht

deutliche Holzschnitte, und da auch die Zeichnung der *Samuda*schen alten Art recht deutlich ist, so fügen wir sie, obgleich eine Wiederholung der Figuren zu den obigen Abhandlungen, ebenfalls bei.

Die Idee des Herrn *Hallette* ist unstreitig ihrer Einfachheit wegen ungemein sinnreich. Es kommt nur darauf an, ob wirklich so die Triebröhre hinreichend luftdicht werde verschlossen werden, und ob die Lippenröhren *dauerhaft* genug werden gemacht werden können. Die Erfahrung von einem Versuch im Grofsen kann allein darüber entscheiden. Ist der Erfolg günstig, so ist ohne Zweifel diese neue Art des Verschlusses der Triebröhre besser, als die alte. D. H.]

II. Des Herrn Pecqueur Vorschlag, die Spannung zusammengeprefster Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen.

(Von Herrn Dr. *J. Guyot*. Aus dem „Journal des chemins de fer" von 1844 No. 31.)

Ohne specielle Zeichnungen läfst sich von Dem, was das System des Herrn *Pecqueur* für die Sicherheit, Leichtigkeit und Einfachheit der Bewegung der Lasten auf Eisenbahnen zu versprechen scheint, nicht besser ein Begriff geben, als durch die einfache Beschreibung, welche Herr *Arago* davon in der Deputirtenkammer gemacht hat.

Herr *Pecqueur* legt zwischen die gewöhnlichen Schienen einer Eisenbahn längsaus eine Röhre aus gegossenem Eisen und verdichtet in derselben mittels einer von einer stehenden Dampfmaschine in Bewegung gesetzten Luftpumpe die Luft bis auf 2, 4 und, wenn man will, 10 Atmosphären. Die Dampfmaschine, so wie die Luftpumpe, welche Herr *Pecqueur* anwenden will, sind von seiner Erfindung. Es sind Maschinen mit kreisförmiger, also stetiger Wirkung. Die Maschinen wirken sehr gut, aber sie sind nicht wesentlich nöthig. Man kann sich auch anderer Maschinen zum Zusammenpressen der Luft, so wie zur Triebkraft anderer fortrückender Maschinen bedienen.

Oben in der mit zusammengeprefster Luft gefüllten eisernen Triebröhre befinden sich von 3 zu 3 F. [statt 1 Metre gesetzt, D. H.] cylindrische (?) Öffnungen, welche von innen nach aufsen vermittels conischer Ventile durch die Spannung der Luft selbst verschlossen werden. Werden diese Ventile von aufsen nach innen durch einen *Druck* geöffnet, so strömt die Luft ver-

möge ihrer Spannung durch sie aus. Stellt man sich nun vor, dafs in dem Augenblick, wo eine Klappe auf diese Weise geöffnet ist, die Öffnung von einer genau darauf passenden Röhre umfafst und bedeckt wird, welche Röhre dann die gespannte Luft in die Cylinder einer mitfahrenden Maschine [also eines *Luftwagens*, der hier die Stelle des *Dampfwagens* einnimmt, D. H.], oder zwischen die Schaufeln und den Kolben der *Pecqueur*schen Maschine leitet, so wird man leicht sehen, dafs jene Luft, von beträchtlicher Spannung, ganz eben so wirken wird, wie der Dampf auf Dampfwagen. Es ist also nur die Schwierigkeit vorhanden, die Leitröhre von der Triebröhre nach dem Luftwagen hin mit geringer Reibung und luftdicht schliefsend über die äufsere Öffnung der Ventile gleiten zu lassen, in dem Augenblick und während des Zeitraums, welche die Ventile offen sind, dann aber auch die Klappen wieder luftdicht zu verschliefsen, sobald die Leitröhre sie verlassen hat. Herr *Pecqueur* löset diese Aufgabe durch eine einfache und dauerhafte Vorrichtung. Der Luftwagen nemlich führt einen gebogenen Hebel mit sich, welcher, über die Klappen hingleitend, sie aufdrückt, gerade in dem Augenblick, wo die Öffnung der Leitröhre, die einen ausgehöhlten verlängerten Ansatz hat, in einer Rinne fortgleitet, in deren Boden sich die Öffnungen der Luftklappen befinden. Sobald der Hebel über eine Klappe hinweg ist, und also nicht mehr auf sie drückt, schliefst sich die Klappe durch den Druck der Luft von innen augenblicklich wieder. Hebt man den Hebel auf, so dafs er nicht mehr auf die Klappe drücken kann, so hört auf der Stelle die Wirkung des Luftwagens auf, weil ihm nun keine gespannte Luft mehr zugeführt wird, und der Wagenzug auf der Bahn bewegt sich nur noch mit der erlangten Geschwindigkeit weiter. Auch ist leicht zu sehen, dafs man mit dieser Vorrichtung eben so wohl rückwärts als vorwärts fahren kann.

Ich sage nichts Näheres von der doppelten Reihe der Klappen und der längsauslaufenden Vorrathsröhre, so wie von dem Gebläse, welches auf eine sinnreiche Weise die Reibung auf der Öffnung der Klappen regelt, sondern komme sofort zu der Hauptsache, nemlich zu der Vergleichung der Wirkung der *Zusammenpressung* der Luft mit der des Ausschöpfens derselben.

Bei dem *Ausschöpfen* der Luft ist, abgesehen von der Reibung und dem Widerstande der Trägheit der Masse, der Unterschied der aufgewandten Kraft und des Nutz-Effects 14 pr. C. für $\frac{1}{4}$ Atmosphären, 33 pr. C. für $\frac{1}{2}$, und 60 pr. C. für $\frac{3}{4}$ Atmosphären. Bei dem *Zusammenpressen* der Luft ist der Nutz-Effect, wieder abgesehen von der Reibung und der Trägheit, der ange-

wandten Kraft gleich. [Wir werden über diesen Gegenstand und das hier noch Folgende in dem zweiten Theile des gegenwärtigen Artikels nähere Untersuchungen anstellen. D. H.]

Diese Verschiedenheit kommt daher, dafs, je mehr die Luft beim Ausschöpfen verdünnt wird, die *Saugpumpe*, während sie an der äufsern Luft einen zunehmenden Widerstand findet, einen immer abnehmenden Theil der noch in der Röhre vorhandenen Luft ausschöpft: wohingegen die *Druckpumpe*, die aus der äufsern Luft stets dieselbe Luftmasse schöpft, in der Röhre stets einen gleichen [?] Widerstand antrifft.

Die Maschinen zum *Ausschöpfen* der Luft müssen einander *nahe* stehen, weil die Pumpe um so weniger wirkt, je kleiner ihr Stiefel gegen den Raum der Röhre ist. Abgesehen von der Undichtigkeit der auszuschöpfenden Röhre, kann die Wirkung eines Kolbenhubes so gering werden, dafs das Ausschöpfen allzuviel Zeit erfordert. Wird dagegen die Luft in die Röhre *eingepumpt*, so können die Luftpumpen, abgesehen von der Undichtigkeit der Röhre, *beliebig* weit von einander entfernt sein, weil jeder Kolbenschlag immer dieselbe Masse Luft in die Röhre prefst.

Bei der Englischen Triebröhre ist der Verlust durch die Undichtigkeit der Röhre unvermeidlich, und wegen der Länge der Klappe bedeutend. Bei der *Pecqueur*schen Triebröhre sind die Ventile die gewöhnlichen und können so dicht gemacht werden, dafs nichts verloren geht.

Bei dem *Ausschöpfen* der Luft ist die Stärke der Triebkraft, welche sich hervorbringen läfst, auf ½ oder ¾ Atmosphären beschränkt: bei dem *Zusammenpressen* der Luft ist diese Kraft unbeschränkt.

Bei dem *Ausschöpfen* mufs der Stiefel und der Kolben der Pumpe *grofs* sein, um die Wirkung ein wenig zu verstärken: bei dem *Zusammendrücken* wirkt schon ein kleiner Kolben bedeutend. Es verhält sich hier gerade so, wie beim niedrigen und hohen Druck bei Dampfmaschinen.

Bei dem *Ausschöpfen* würde ein Kolben von 1 Q. F. (1000 Centimetres superficiels) nur 40 Ctr. auf einen Abhang von 45 Graden hinaufbringen [?]: bei dem *Zusammenpressen* auf 10 Atmosphären 400 Ctr.

Durch eine *ausgeschöpfte* Triebröhre läfst sich ein Wagenzug nur nach einer Richtung forttreiben [?]: durch die *Pecqueur*sche Röhre eben so wohl rückwärts, als vorwärts. –

Über der *auszuschöpfenden* Röhre hat ein aufzuhaltender Wagenzug gegen die erlangte Geschwindigkeit und aufserdem gegen den fortdauernden

Luftdruck zu kämpfen: über der *Pecqueur*schen Röhre nur gegen die erstere, und man kann dieser durch *Zurückbewegung*, den Hemmschuhen zur Hülfe. entgegenwirken.

U. s. w. Argenteuil, den 31ten July 1844. *Guyot.*

[Der Herausgeber des gegenwärtigen Journals hat zufällig Gelegenheit gehabt, durch einen ausgezeichneten Französischen Ingenieur, der sich vor Kurzem einige Zeit in Berlin aufhielt und der die *Pecqueur*sche Vorrichtung genau kannte, von derselben durch mündliche Beschreibung und Handzeichnungen eine noch etwas nähere Vorstellung zu erhalten. Dieser zufolge besteht die *Pecqueur*sche Röhre eigentlich aus zwei mit einander verbundenen und aus einem Stück gegossenen Röhren, eine über die andere: die untere, in welcher sich der Kolben bewegt, von kreisförmigem Querschnitt, die obere mit ebenem Deckel. In der Wand oder dem Deckel zwischen beiden Röhren, also in dem obersten Theil der cylindrischen Wand der untern Röhre, befinden sich, mehrere Meter weit von einander entfernt, einzelne Klappen, die durch einen Hebel vom Luftwagen her vermittels Stangen, welche durch die Röhrenwand gehen, geöffnet werden. Die obere Röhre oder, wenn man will, der obere Theil der ganzen Triebröhre, dient gleichsam zum *Luftbehälter*. In seiner obern Decke befindet sich alle 3 F., wie es in der obigen Beschreibung gesagt ist, eine Klappe, die, ebenfalls der Beschreibung zufolge, durch einen Hebel niedergedrückt wird. Die aus dieser Klappe ausströmende Luft in die Leitröhre, die sie nach dem Luftwagen hinführt, *aufzufangen*, dient ein Ventil, ähnlich dem *Gleitventil* an Dampfwagen, welches über die Klappen hingleitet.

Nach dieser Beschreibung wäre die Vorrichtung doch ziemlich complicirt: und wie es möglich sei, das *Gleitventil* so einzurichten, dafs nicht Luft *verloren* geht, ist schwer einzusehen. Doch auch hier können nur Versuche, möglichst im Grofsen, und die Erfahrung entscheiden. Die von Herrn *Guyot* berührte Vergleichung der Wirkungen der beiden Methoden, die Luft *auszuschöpfen* und sie *zusammenzupressen*, und die Vorzüge der einen vor der andern in Rücksicht der dazu nöthigen Kraft, werden wir, wie gesagt, im zweiten Theile dieses Artikels näher erörtern. D. H.]

III. *Versuche mit einer Zugmaschine für Eisenbahnen, auf welche die zusammengeprefste Luft so wirkt, wie der Dampf auf Dampfwagen.*

(Aus dem „Journal des chemins de fer" No. 35. vom 31. August 1844.)

In dieser Woche hat man auf der Eisenbahn zwischen Paris und Versailles auf dem linken Ufer der Seine sehr interessante Versuche angestellt. Es kam darauf an, ob wirklich nach dem Vorschlage des Herrn *Andraud zusammengeprefste Luft* auf den Eisenbahnen die Stelle des *Dampfs* vertreten könne. Der Ingenieur Herr *Andraud* beschäftigt sich mit dieser wichtigen Frage seit fünf Jahren. Er hat jetzt einen ziemlich grofsen Luftwagen vollendet und ihn vorigen Montag zum erstenmal auf der Versailler Eisenbahn fahren lassen; indessen blofs erst in der Absicht, um zu sehen, ob die Maschine regelmäfsig wirke. Dieser Versuch, welcher gleichsam im Geheimen Statt fand, ist sehr wohl gelungen. Die Maschine, auf 6 Rädern stehend, wiegt 90 bis 100 Centner. Sie hat keinen Tender; denn sie bedarf weder Wasser noch Kohlen. Ihr Mechanismus ist sehr einfach und ihr Äufseres nicht ohne Eleganz [!]. Der Behälter für die Triebkraft hat 107 Cubikfufs [3300 Litres] Inhalt und ist aus 6 bis 7 Linien [13 bis 15 Millimetres] dickem Eisenblech gemacht. Dieses Blech würde eine Spannung von 100 Atmosphären aushalten können: aber die Luft in dem Behälter soll nur bis auf 25 Atmosphären zusammengeprefst werden. Bei dieser Spannung wiegt die zusammengeprefste Luft 228 Pfd. und die Maschine hat die Kraft von etwa 9 Pferden, eine Stunde lang.

Wir haben zu sagen, weshalb die ersten Versuche mit dieser Maschine mit einer nur schwachen Luftspannung angestellt wurden. Die Eisenbahnverwaltung hatte dem Herrn *Andraud* einen unbeschäftigten Dampfwagen zum Zusammenpressen der Luft angewiesen; aber dieser Dampfwagen wurde bald darauf verkauft und weggeschafft. So behielt Herr *Andraud* für seine Luftpumpen nur die Kraft von Menschen-Armen, durch welche sich mit starken Vorrichtungen nur eine Luftspannung von 4 bis 5 Atmosphären erlangen liefs. Demungeachtet setzte sich der Luftwagen leicht und kräftig in Bewegung und erlangte schnell eine Geschwindigkeit von $3\frac{1}{2}$ bis 4 Meilen auf die Stunde. Die Herren *Baude* und *Bineau* waren als Commissarien der Regierung bei diesem ersten Versuch zugegen, und ungeachtet der vielen unvorhergesehenen Zufälle, die eine neue Maschine treffen können, hatten sie so viel Vertrauen

zu derselben, dafs sie sie bestiegen; mit dem Erfinder, welcher sie lenkte. Man fuhr nur etwa 265 Ruthen weit; aber man wollte auch nur von dem leichten und regelmäfsigen Gange der Maschine sich überzeugen. Es wird nun weiter darauf ankommen, die *Kraft* dieses Wagens als *Zugmaschine* zu ermitteln. Dieses wird auch geschehen, sobald man eine Vorrichtung zum Zusammenpressen der Luft erlangt haben wird, welche hinreichende Kraft dazu besitzt. Man versichert uns, Herr *Andraud* habe die Absicht, von der Eisenbahn-Verwaltung die Erlaubnifs zur Errichtung einer vom *Winde* getriebenen Maschine zu diesem Zwecke zu begehren. So würde die, gleich den Wassergefällen unerschöpfliche und nichts kostende Kraft des Windes gleichsam sich selbst in zusammengeprefste Luft verwandeln und sich als solche sammeln und aufbewahren lassen, um dann auf Eisenbahnen zur Fortschaffung der Wagenzüge zu dienen. Dieses ist ein wichtiger Gegenstand; und wenn die Aufgabe auch noch nicht gelöset ist, wird doch die Lösung nicht ausbleiben. Es läfst sich solches von der muthigen Beharrlichkeit des Erfinders erwarten. Der Erfolg des ersten Versuchs hat schon viele Ungläubige bekehrt, und es ist jetzt wenigstens für Niemand mehr zweifelhaft, dafs die Maschine sich *bewegen kann.* Es fragt sich nur noch, unter welchen ökonomischen und practischen Bedingungen sie *benutzbar* sei.

[Der Gedanke, zusammengeprefste Luft statt des Dampfes die Zugmaschinen auf Eisenbahnen treiben zu lassen, ist schon vielleicht 30 Jahre alt und, so viel mir bekannt, zuerst von Herrn *v. Baader* in München geäufsert. Im Jahre 1833 gedachte seiner der Herr Oberbergrath *Henschel* in Cassel in einer Schrift: „Neue Construction der Eisenbahnen, und Anwendung comprimirter Luft zur Bewegung der Fuhrwerke, Cassel bei Hotop 1833," aber fast nur andeutungsweise; denn die Schrift beschäftigt sich mehr mit der Construction der Eisenbahnen selbst. Nachher sollen in England Versuche mit dem Zusammendrücken der Luft angestellt worden sein; unter andern auch von *Brunel,* dem Erbauer des Tunnels in London. Im Jahre 1838 berührte ich den Gegenstand in einer der Berliner Akademie der Wissenschaften im October und November 1838 vorgelesenen und im 2ten und 3ten Heft 13ten Bandes des gegenwärtigen Journals gedruckten Abhandlung, betitelt: „Einiges über die Ausführbarkeit von Eisenbahnen in bergigen Gegenden." Ich stellte in dieser Schrift einige Berechnungen über die Wirkung an, welche die Spannung der Luft bei dieser Anwendung haben würde. Späterhin aber habe ich erkannt, dafs, wenn man die Art der Anwendung der Luftkraft verändert, die Resultate dieser Berech-

nungen, welche dort an sich ganz richtig sind, bei weitem mehr zu *Gunsten* der Ausführbarkeit dieser Benutzung ausfallen, als in der erwähnten Abhandlung. Ich habe jetzt beinahe die *Überzeugung*, dafs diese Art von bewegender Kraft auf Eisenbahnen vielleicht *die vortheilhafteste und beste von allen ist; und zwar in allen den Fällen, wo Dampfwagen ausreichen.* Ich werde dieses im zweiten Abschnitt des gegenwärtigen Artikels ausführlich und mit Gründen auseinanderzusetzen bemüht sein. Der hier oben beschriebene Versuch des Herrn *Andraud* ist daher meines Erachtens auch *ungemein wichtig;* nicht sowohl, um die Möglichkeit der Benutzung der zusammengeprefsten Luft statt des Dampfs zu beweisen (denn es giebt keinen vernünftigen Grund, zu zweifeln, dafs die zusammengeprefste Luft, die ganz eben so eine elastische Flüssigkeit ist, wie der Dampf, eben wie dieser wirken werde), sondern um dem *Publico* von der Wahrheit durch *Anschauung* die Überzeugung zu geben. Die Fortsetzung der Versuche des Herrn *Andraud* sind gewifs angelegentlichst zu wünschen und Jeder, der sich für das Nützliche interessirt, wird die Nachricht davon zweifelsohne mit grofsem Interesse erwarten. D. H.]

IV. Vorschlag eines Ungenannten in No. 17. des „Journal des chemins de fer" von 1844 zu Triebröhren auf Eisenbahnen, die durch zusammengeprefste Luft hinter dem Kolben aufgebläht werden.

Man beginnt in der Technik, mit einer neuen Art, die Wagenzüge auf Eisenbahnen fortzutreiben, angelegentlich sich zu beschäftigen. Dieses Mittel ist ungemein einfach und eine französische Erfindung.

Man nehme eine kleine biegsame und luftdichte Röhre mit einer Mündung, lege sie auf einen Tisch, ohne sie darauf zu befestigen, und auf die Röhre irgend einen Cylinder, z. B. eine gefüllte Flasche, so dafs der Cylinder die Röhre mit seinem ganzen Gewicht drückt. Nun blase man stark in die Mündung der Röhre und man wird den Cylinder schnell fortrollen sehen; selbst Abhänge ersteigen.

Der Vermittler zwischen der bewegenden Kraft (einer Dampfmaschine z. B.) und dem Widerstande der Wagenzüge wäre also hier ein weiches Kissen, und das Innere der Röhre kann sich nicht abnutzen. Die äufsere Seite der Röhre wird sich, so wie der Druck der Luft die Röhre aufbläht, ohne alle

Reibung an den Cylinder anlegen, welche er forttreibt; wie etwa ein Riemen ohne Ende, der um ein Rad geschlungen ist, um dessen Bewegung einem andern Rade mitzutheilen. Wie dauerhaft das Letztere sei, weifs Jeder.

Von den zahlreichen Anwendungen, die sich von der Vorrichtung machen lassen, ist ihr Erfinder besonders bei folgender stehen geblieben. Er will mitten zwischen die Schienen einer Eisenbahn zwei halbe hohle Cylinder legen, gegen einander gerichtet, und die offenen Seiten gegen die Schienen. Die andere Hälfte der Cylinder verschliefst er mit Leder oder einem anderen biegsamen Stoffe. An den Wagen, welcher fortgetrieben werden soll, befestigt er zwei horizontale Räder, deren Felgen in die hohle Hälfte der Cylinder passen und mittels Federn hineingedrückt werden. Das Leder nimmt alsdann die Gestalt der Höhlung an. Wird nun durch eine Dampfmaschine Luft in die Röhre hinter die Räder hineingeprefst, so blähen sich die halb aus Eisen, halb aus Leder bestehenden Cylinder auf, und der Wagen wird fortgetrieben.

So kann man über jeden Abhang und durch jede gewöhnliche Strafsenkrümme kommen; eben wie über horizontale Stellen. Auch die Abzweigungen sind leicht. Es ist hier kein Luftkolben und kein längsauslaufendes Ventil nöthig. Die Luft, welche gedient hat, einen Abhang zu ersteigen, kann auch die Geschwindigkeit des Herabfahrens mäfsigen, indem sie nur allmälig entweicht. Die Triebkraft ist also hier in allen Beziehungen vortheilhafter angewendet, als auf den sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen.

[Dafs das Mittel nicht *auf die Weise* anwendbar sein dürfte, die hier beschrieben ist, dürfte wohl ziemlich gewifs sein. Da nemlich das Leder, welches von den Rädern in den hohlen eisernen halben Cylinder hineingedrückt werden soll, eben deshalb nothwendig ebenfalls einen halben Cylinder bilden mufs, so würden wohl, da der *convexe* halbe lederne Cylinder in einen *concaven* halben Cylinder hineingedrückt werden soll, sehr bald Brüche in dem Leder entstehen, durch welche es undicht wird; auch würden die cylinderförmig oder ringförmig abgerundeten Felgen der Räder allerdings das Leder *reiben;* so dafs dasselbe unmöglich lange vorhalten könnte. Man wolle aber dennoch den Vorschlag nicht übersehen, oder ganz von der Hand weisen. Der Herausgeber des gegenwärtigen Journals ist der Meinung, dafs der Vorschlag auf eine andere Weise sich ganz füglich und mit Vortheil dürfte benutzen lassen und dafs die Benutzung ganz wohl practisch ausführbar sein dürfte. Er wird solches in dem zweiten Abschnitt nachzuweisen versuchen. Die Grund-Idee ist übrigens dieselbe, welche schon vor mehreren Jahren ein Königlich-

Preufsischer Baumeister gehabt hat, der sie damals zu einer Wasserhebemaschine benutzen wollte. Ob derselbe sie bekannt gemacht habe, ist mir unbekannt. D. H.]

V. *Shuttleworths hydraulische Eisenbahn.*

Herr *Shuttleworth* hat diese seine Idee in einer besondern Schrift auseinandergesetzt. In dem Blatte vom 3ten Febr. 1844 des „Journal des chemins de fer" steht ein *erster Brief* des Herrn *Shuttleworth* aus Bath vom 25ten Januar 1844 an den Redacteur des Journals, welcher den Anfang der Entwicklung der Idee enthält; die weitern Briefe hat der Herausgeber des gegenwärtigen Journals aber bis jetzt (im October 1844) nicht gefunden, und die Schrift des Herrn *Shuttleworth* selbst kennt er ebenfalls nicht. Aber aus jenen ersten Briefen geht schon der Grundgedanke ziemlich deutlich hervor. Der Herausgeber theilt vorläufig denselben hier mit.

In einer zwischen den Schienen einer Eisenbahn längsaus gelegten eisernen Röhre, ganz der für die sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ähnlich, oben mit einem längsauslaufenden Schlitz, nur dafs die Klappe hier den Schlitz nicht von oben nach unten, sondern von innen nach aufsen verschliefst, soll der Druck vom *Wasser* auf den Kolben wirken und denselben und durch ihn den vordersten Wagen und den Wagenzug forttreiben. Herr *Shuttleworth* protestirt sehr eifrig dagegen, dafs er etwa den Druck des Wassers überall durch eine *Wassersäule,* die für 6 Atmosphären 180 F. hoch sein müfste, hervorzubringen und also das Wasser auf diese Höhe emporzuheben beabsichtigte. Er will sich des Drucks einer Wassersäule blofs da bedienen, wo sie etwa zufällig von hinreichender Höhe vorhanden ist. Er will vielmehr das Wasser durch eine Maschine in einen Behälter pressen, der über dem Wasser Luft enthält, also, wie es scheint, in einen Behälter, der etwa der Luftblase bei Feuerspritzen ähnlich ist. Die Spannung der Luft über dem Wasser soll dann die Stelle des Drucks einer Wassersäule vertreten; welche Anordnung übrigens an der Grund-Idee selbst nichts ändert. Diese ist immer die, dafs hier das Wasser statt der Luft durch seinen Druck den Kolben forttreiben soll, werde nun die Druckkraft des Wassers durch das Gewicht einer Wassersäule, oder durch die Spannung einer auf das Wasser wirkenden Luftmasse, oder wie sonst hervorgebracht.

Mir scheint bei der Ausführung dieser Idee nur besonders die Schwierigkeit zu sein, dafs, wenn die Röhre, wie es hier der Fall sein wird, sehr

lang ist, der Widerstand der Röhrenwände gegen das in der Röhre fliefsende Wasser einen *grofsen* Theil der bewegenden Kraft unwirksam machen und also nutzlos verzehren wird. Der Widerstand der Röhrenwände gegen bewegte *Luft* ist bei weitem geringer. Auch würde es wohl schwierig sein, auf jeder Station Wasser in hinreichender Menge herbeizuschaffen; desgleichen ist nicht wohl einzusehen, weshalb das Wasser, als Mittel der Übertragung der Kraft von der stehenden Maschine nach dem Kolben hin, vortheilhafter sein sollte, als die Luft. Doch möge man die Idee nicht absprechen, sondern die weitern Erfolge derselben erwarten.

Zweiter Theil.

Über die verschiedenen Arten, die Spannkraft der atmosphärischen Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen zu benutzen, von welchen eine die der sogenannten atmosphärischen Eisenbahnen ist.

I. *Vergleichung der Spannkraft des Dampfes und der Luft im Allgemeinen.*

1.

Der Wasserdampf und die atmosphärische Luft sind beides *elastische Flüssigkeiten.* Sie haben als solche die Eigenschaft gemein, sich *auszudehnen* und gegen Flächen, die sich ihrer Ausdehnung widersetzen, eine *Spannkraft* auszuüben, welche im allgemeinen in geradem Verhältnifs mit der Dichtigkeit der beiden Flüssigkeiten wächst; jedoch bei beiden durch den Grad der Temperatur verändert wird. Da die Dichtigkeit immerfort vergröfsert werden kann, so läfst sich auch die Spannkraft *beider* Flüssigkeiten bis zu einem beliebigen Grade verstärken.

Die *Spannkraft* oder *ausdehnende Kraft* des *Wasserdampfs* ist es, welche die *Dampfmaschinen* in Bewegung setzt, durch welche man auf den Eisenbahnen Lasten fortschafft, oder sonst zu andern Zwecken; und zwar im Allgemeinen auf die Weise, dafs man den Dampf auf bewegliche Kolben in Röhren, die an ihrem Ende verschlossen sind, wirken, dadurch die Kolben forttreiben und sie so die verlangte Wirkung hervorbringen läfst: also mufs auch *Luft,* da sie die Spannkraft oder ausdehnende Kraft mit dem Dampfe *gemein* hat, ganz eben so sich benutzen lassen können. Die Wirkung mufs dieselbe sein; der Unterschied ist nur, dafs die Spannkraft des Dampfes durch die *Erhöhung der Temperatur,* und dagegen die aus der vergröfserten Dichtigkeit entstehende Spannkraft der Luft durch eine beliebige andere, *äufsere* mechanische Gewalt hervorgebracht werden mufs.

2.

Der *Wasserdampf* hat in Rücksicht seiner Benutzung für Maschinen vor der *Luft* das voraus, dafs er und seine Spannkraft durch das Feuer auch da erzeugt werden kann, wo eine mechanische Gewalt zur Verdichtung oder Zusammenpressung der Luft nicht wohl zu haben ist; also insbesondere auch auf *Schiffen;* obgleich es noch die Frage wäre, ob und in wie fern nicht die Kraft des Windes auf dem Meere und diese, zusammen mit der der Strömung des Wassers auf Flüssen, auch da noch zum Zusammenpressen der Luft und also zur Hervorbringung von Triebkraft zu benutzen sein dürfte.

In allen andern Fällen dagegen, wo andere äufsere Kräfte zur Hervorbringung der Spannung der Luft vorhanden und zu haben sind, hat die *Luft* für die Benutzung ihrer Spannkraft vor dem *Wasserdampf* mehrere und entschiedene *Vorzüge,* vorausgesetzt, dafs sich sonst die technischen Schwierigkeiten dabei überwinden lassen. Diese Vorzüge, insbesondere bei der Fortbewegung von Lasten auf *Eisenbahnen,* welcher Fall der Gegenstand dieses Aufsatzes ist, sind etwa folgende.

Erstlich ist nicht unbedingt *Feuer* und also *Brennstoff* nöthig, um die Spannkraft oder die bewegende Kraft der Luft zu erzeugen, sondern jede andere mechanische Kraft, z. B. die Kraft von Wassergefällen, die Kraft des Windes, die Kraft von Zugthieren u. s. w. läfst sich dazu ganz eben so wohl benutzen; und dies ist sehr wichtig; denn einestheils ist die Heizung etwas Verzehrendes; sie *vernichtet* einen kostbaren Stoff, der anders, z. B. zur Erwärmung der Wohnungen, zur Bereitung der Speisen u. s. w. nützliche Dienste leisten kann; anderntheils ist der Brennstoff kostbar, die Kraft des Windes dagegen kostet an sich nichts, die Kraft unbenutzter Wassergefälle ebenfalls meistens nur wenig, und die Kraft der Zugthiere kann häufig wohlfeiler sein, als die des Brennstoffes.

Zweitens sind Maschinen, die durch das *Feuer* in Bewegung gesetzt werden, *weniger dauerhaft,* und folglich kostbarer als andere. Das Feuer zerstört sie unvermeidlich schnell. Besonders ist dies der Fall, wenn die Feuermaschinen nicht *feststehen,* sondern selbst mit fortbewegt werden; wie in dem Fall der Fortbewegung von Lasten auf Eisenbahnen.

Drittens. Ist die *Feuersgefahr* ein nicht unbedeutendes Übel, und sie ist doppelt grofs, wenn die Feuermaschinen, wie auf den Eisenbahnen, mit fortrücken. Alsdann ist sie nicht blofs für die Nachbarschaft stehender

Maschinen, sondern längs der ganzen Eisenbahn vorhanden; für die Personen und Güter aber, welche durch die Maschinen fortbewegt werden, ist sie in *hohem Grade* drohend. Benutzt man dagegen die Spannung der *Luft* als bewegende Kraft, so ist die Feuersgefahr für die Personen und Güter gar nicht und, selbst wenn man stehende Feuermaschinen zur Hervorbringung der Triebkraft dienen lassen mufs, oder will, doch nur noch für die Nachbarschaft dieser vorhanden; wo dann Sicherheitsmaafsregeln leicht sind. In wie fern die andere, aus einer starken Spannung der Luft allerdings entstehende und an die Stelle der Feuersgefahr tretende Gefahr des *Zerspringens der Luftbehälter* der Feuersgefahr zu vergleichen sei, wird weiter unten zu erörtern sein.

Viertens vermindert die Erniedrigung der Temperatur die Kraft der einmal gespannten Luft nur wenig, und fast nur unmerklich, die Spannung des Wasserdampfes dagegen sehr stark. Jedenfalls sind deshalb die Feuermaschinen, um die Wirkung der Erniedrigung der Temperatur zu hindern, künstlicher nöthig, und ihre Behandlung ist schwieriger, als es Luft-Vorrichtungen und deren Benutzung sein würden.

Fünftens ist die *Luft* zum Träger oder Vermittler der bewegenden Kraft durchaus unerschöpflich und überall und vollkommen kosten*frei* zu haben: das *Wasser* zu dem Wasserdampf ist es freilich ebenfalls, wiewohl doch nur beinahe: dagegen der *Brennstoff* ist weder unerschöpflich, noch kostenfrei. Soll das Brenn*holz*, welches allein wieder *zunächst*, nicht unerschöpflich sein, so erfordert es grofse Flächen Landes, die Nützlicheres tragen könnten.

Die Spannkraft der Luft hat also vor der des Wasserdampfes, besonders für Eisenbahnen, schon im Allgemeinen entschiedene und grofse Vorzüge.

3.

Dafs die Spannkraft der Luft an sich als bewegende Kraft zur Fortschaffung von Lasten auf Eisenbahnen tauglich sei, ist den obigen Bemerkungen zufolge unzweifelhaft, und gleichsam *mathematisch* gewifs. Es kommt immer nur auf eine Kraft von hinreichender Stärke an, die geeignet ist, einen Kolben in einer Röhre fortzutreiben. Eine solche Kraft besitzt die Luft, wenn sie zusammengedrückt ist, eben wie der Dampf; und ob es Luft oder Dampf sei, was den Kolben forttreibt, ist offenbar für die Wirkung gleichgültig, während es practisch selbst leichter ist, einen dauerhaften und tauglichen *Luftkolben* zu machen, als einen *Dampfkolben*. Die Frage an sich, *ob* die Spannkraft der Luft die Stelle derjenigen des Dampfes auf Eisenbahnen vertreten könne,

findet daher gar nicht Statt. Sie verneinen, hiefse physicalische Gesetze bezweifeln und leugnen, die seit Jahrhunderten bekannt und bestätigt sind.

Es kommt also nur darauf an, *wie* die Spannkraft der Luft hier zu benutzen *technisch* möglich sei, und dann: *wie am besten und vortheilhaftesten.*

Beim ersten Anblick *scheint* die Benutzung der Luft grofse technische Schwierigkeiten zu haben; aber es ist glücklicherweise nicht mehr an der Zeit, wo hier der Schein dem Fortschritte sich entgegenstemmen könnte. Die *Erfahrung* und die *Wirklichkeit* hat *bewiesen*, dafs die Benutzung der Luft auf Eisenbahnen auf eine der verschiedenen Arten, die thunlich sein dürften, *technisch* wirklich *möglich ist.* Die Eisenbahn bei Dublin, von Kingstown nach Dalkey, ist in vollem *Betriebe,* und die *Spannkraft der atmosphärischen Luft* ist es dort, die einen Kolben, *vor* welchem man die Luft in einer längs der Eisenbahn laufenden Röhre auspumpt, und mit ihm schwere Wagenzüge, mit grofser Geschwindigkeit, sogar stets bergauf und einen ziemlich steilen Abhang hinan, forttreibt.

Nun ist aber die besondere Art der Benutzung der Spannkraft der Luft bei Dublin, wie sich zeigen wird, fast von allen sogar gerade die *unvortheilhafteste* und die *schwierigste.* Auch sind die Vorrichtungen zu dieser Benutzung ungemein complicirt und künstlich. Es beweiset daher dieser erste Versuch nicht blofs die technische Möglichkeit der Benutzung der Luft auf Eisenbahnen, sondern *mehr:* nemlich dafs, da die Benutzung auf diese *schwierige* Art wirklich schon möglich ist, sie es auch wohl noch auf andere, *einfachere* und gleichsam *natürlichere* Arten sein werde. Man hat die Dubliner Eisenbahn durch die Erfahrung schon so vortheilhaft gefunden, dafs man in England damit umgeht, mehrere neue Eisenbahnen nach diesem Systeme zu bauen: also ist es mehr als wahrscheinlich, dafs auf *andere* Arten und durch *einfachere* und *zweckmäfsigere* Vorrichtungen noch viel gröfsere Vortheile zu erzielen sein dürften. Einige Ingenieurs haben sogar die Meinung aufgestellt, dafs die atmosphärischen Eisenbahnen, nach Art der Dubliner, *überall* und unter allen Umständen, auch in Rücksicht der *Kosten,* vortheilhafter sein würden, als Dampfwagenbahnen. Allein es wird sich zeigen lassen, dafs *dem* nicht also ist und dafs die *Gegner* der Meinung Recht haben. Es ist zwar ganz wahrscheinlich, ja beinahe gewifs, dafs die Benutzung der Luft überall und unter allen Umständen vortheilhafter sein dürfte, als die Spannkraft des Dampfs; nemlich in Rücksicht der in §. 3. aufgezählten Vorzüge der Luft

vor dem Dampf: aber, damit sie es auch in Absicht der *Kosten sei*, dürften *andere* Vorrichtungen als die bei Dublin nöthig sein.

Wir werden alles Dieses in Folgendem näher zu erörtern versuchen und Erwägungen darüber anstellen, *welche* Arten von Vorrichtungen technisch am leichtesten ausführbar und zugleich in Absicht der Kosten die vortheilhaftesten sein dürften.

II. Verschiedene Arten die Spannkraft der Luft auf Eisenbahnen zu benutzen.

4.

Die verschiedenen Arten, wie die Spannkraft der Luft zur Forttreibung von Lasten auf Eisenbahnen sich dürfte benutzen lassen, wenigstens diejenigen, welche theils schon wirklich ausgeführt, theils vorgeschlagen und mehr oder weniger dringend empfohlen wurden, sind etwa folgende.

I. Man kann längs der Eisenbahn, mitten zwischen die Schienen, eine Röhre legen, in welcher sich ein Kolben bewegt, *vor* welchem man die Luft mehr oder weniger auspumpt, so dafs der Druck der atmosphärischen Luft *hinter* dem Kolben das Übergewicht bekommt und den Kolben und mit ihm den vordersten Wagen des Zuges, der mit dem Kolben durch eine senkrechte Stange verbunden ist, und dann weiter die an den vordersten Wagen angehängten übrigen Wagen, also den ganzen Wagenzug forttreibt. Damit die Stange von dem Kolben nach dem vordersten Wagen gelangen könne, mufs die Röhre längsaus einen *Schlitz* haben, den eine längsauslaufende Klappe *vor* dem Kolben luftdicht verschlossen hält und welche erst die Stange selbst, oder der Wagenzug, so wie er fortrückt, öffnet. Die luftdichte Klappe aber, und sie allein, ist die sehr grofse technische Schwierigkeit. Einen Wagen, der nicht mit Gütern oder Personen beladen werden könnte, wie Dampfwagen und Tender auf Dampfwagenbahnen, giebt es hier nicht; denn auch der vorderste Wagen, der durch die Stange mit dem Kolben zusammenhängt, kann noch beladen werden. Es braucht blofs der Führer, mit Dem was ihm nöthig ist, darauf Platz zu finden.

Diese Art der Vorrichtung ist die Dubliner sogenannte *atmosphärische Eisenbahn.*

II. Während Alles ganz wie vorhin ist, kann man die Luft, statt sie *vor* dem Kolben zu *verdünnen*, *hinter* dem Kolben *zusammenpressen.* So

viel ich weifs, ist diese Art noch nicht näher vorgeschlagen worden; allein die Veränderung liegt so nahe, dafs sie kaum etwas Neues zu nennen ist. Es ist dazu nichts weiter nöthig, als eine andere Einrichtung der Klappe auf dem Schlitz für die Verbindungsstange des Kolbens in der Triebröhre mit dem vordersten Wagen. Statt dafs diese Klappe bei No. I. von *aufsen* nach *innen* luftdicht schliefsen mufs, mufs sie es hier von *innen nach aufsen;* was sich auch, wie sich zeigen wird, ganz gut ausführen lassen dürfte.

III. Man kann, statt eine feste eiserne Röhre mit einem Schlitz zwischen die Schienen zu legen und einen Kolben darin sich fortbewegen zu lassen, eine Röhre *ohne Kolben* zwischen die Schienen legen, die, so wie die Luft hineingepumpt wird, hinter einem *Rade* am vordersten Wagen sich *aufbläht,* welches Rad mitten zwischen den Schienen auf der Decke der Röhre hinrollt und so den vordersten Wagen und mit ihm die übrigen Wagen forttreibt. Dieses wäre die Ausführung eines Vorschlages, welchen kürzlich ein Ungenannter in No. 17. des „Journal des chemins de fer" von 1844 gemacht hat und dessen Grund-Idee schon vor mehreren Jahren unter andern ein Preufsischer Ingenieur hatte, der sie zum Heben des Wassers benutzen wollte.

IV. Man kann, wie in No. I. und II., zwischen die Schienen eine feste eiserne Röhre legen, in dieser Röhre die Luft zusammenpressen, darauf aus der Röhre, als einem festliegenden *Luftbehälter,* den vordersten Wagen, der ganz wie ein Dampfwagen eingerichtet ist, mit zwei Cylindern, Kolben, Kurbeln etc., aber ohne Dampfkessel und Esse, auf irgend eine Weise die nach Bedürfnifs nöthige Luft schöpfen und diese nun ganz so auf die Kolben in den Cylindern des *Luftwagens* wirken lassen, wie den Dampf in *Dampfwagen.* Diese Einrichtung ist die des Herrn *Pecqueur.* Sie ist bis jetzt erst im Modell versucht worden, wird aber dem Vernehmen nach im Grofsen geprüft werden.

V. Man kann die Luft in Behälter zusammenpressen, diese Behälter auf den vordersten Wagen setzen, der wiederum ganz so eingerichtet ist, wie der *Luftwagen* in No. IV., und nun wieder diese zusammengeprefste Luft aus den *mitfahrenden* Behältern auf die Kolben in den Cylindern ganz eben so wirken lassen, wie den Dampf in Dampfwagen. Diese Einrichtung ist diejenige, welche meines Wissens zuerst Herr *v. Baader* in München vorgeschlagen hat. Der Herr Oberbergrath *Henschel* in Cassel hat sie im Jahr 1833 von neuem angeregt. Ich habe davon im Jahr 1838 in der der hiesigen Königl. Akademie vorgelesenen Abhandlung „Über die Ausführbarkeit

von Eisenbahnen in bergigen Gegenden" gesprochen, und im August 1844 hat Herr *Andraud* zu Paris auf einer der Eisenbahnen nach Versailles Versuche mit einem von ihm im Grofsen ausgeführten *Luftwagen* angestellt; vorläufig ohne angehängte Lastwagen, weil es ihm noch an dem Mittel gefehlt hat, die Luft hinreichend zusammenzupressen. Die Versuche sind vollkommen gelungen und werden dem Vernehmen nach mit stärker zusammengeprefster Luft und mit angehängten Lastwagen fortgesetzt werden.

III. *Technische Vorrichtungen zu den obigen verschiedenen Arten der Benutzung der Luft.*

5.

Ehe wir zwischen den hier aufgezählten fünf verschiedenen Arten von Eisenbahnen rücksichtlich der Anlagekosten und der Transportkraft, so wie über ihre sonstigen Vorzüge und Nachtheile gegen einander und gegen die gewöhnlichen Dampfwagen-Eisenbahnen Vergleichungen anstellen dürfen, wird es angemessen sein, erst *technisch* oder *practisch* anzugeben, wie und auf welche Weise nach unserer Meinung am besten die verschiedenen Constructionen ins Werk zu richten sein dürften: denn man kann natürlich nicht eher mit Grund über technische Gegenstände Vergleichungen und Berechnungen ihrer Wirkungen anstellen, ehe man nicht nachgewiesen hat, dafs und wie sie practisch ausführbar sein würden.

Die obigen fünf verschiedenen Constructionen lassen sich, einer der Hauptsachen nach, in nur *zwei* verschiedene Arten theilen. Die *erste* Art ist die, welche eine zwischen den Schienen längsauslaufende *Triebröhre* von dieser oder jener Construction hat. Dieses ist bei No. I. II. III. und IV. der Fall. Die *andere* Art ist die No. V., welche *keiner* solchen Röhre bedarf.

Von der ersten Art bedarf wieder No. III. für die Triebröhre keines längsauslaufenden Schlitzes mit Klappe. Auch No. IV. bedarf, *nach der Pecqueurschen Art,* für die Triebröhre keinen Schlitz. Aber da No. IV. in dieser Art gar zu complicirt und die Erlangung der Luftdichtigkeit bei derselben *noch* schwieriger zu sein scheint, als wenn ein Schlitz vorhanden ist, so setzen wir auch für diese Art einen Schlitz voraus.

Wir haben also jetzt die drei Arten No. I. II. und IV. mit längsauslaufender *geschlitzter* Triebröhre, wo der Schlitz nebst Klappe, wie sich zeigen wird, bei allen dreien im wesentlichen auf eine und dieselbe Weise dürfte

eingerichtet werden können; sodann No. III. mit längsauslaufender *ungeschlitzter* Triebröhre, und No. V. *ohne* Triebröhre.

Wir fangen mit No. I. II. und IV. an; und zwar mit No. IV., da dieser Fall der schwierigste ist und No. I. und II. blofse Vereinfachungen desselben sind.

6.

Es kommt bei No. IV., wo die Luft in der ganzen Triebröhre vor dem Anfange der Bewegung zusammengeprefst werden und dann der *Luftwagen* aus der Röhre die zusammenprefste Luft nach Bedürfnifs ausschöpfen soll, darauf an, dem Schlitze der Röhre eine Klappe zu geben, die sich *vor* der Stange, welche den *Triebkolben* mit dem Luftwagen in Verbindung setzt, und die wir *Triebstange* nennen wollen, nach dem Innern der Röhre hin öffnet und *hinter* dem Kolben wieder von Innen nach Aufsen verschliefst; denn die Luft hat hier im Innern der Röhre eine *stärkere* Spannung als aufserhalb, und mufs abgehalten werden, von Innen nach Aufsen *durch die Klappe* und anders als durch die Schöpfröhre des Luftwagens zu entweichen. Die Klappe mufs also von *Innen nach Aufsen luftdicht* schliefsen. Die Construction einer Klappe, welche allmälig längs der Röhre sich öffnen lasse, dabei aber vor und hinter dem Kolben *luftdicht* schliefse, ist die einzige, aber auch eine grofse technische Schwierigkeit.

Bei der Dubliner Eisenbahn, wo die Klappe ebenfalls, wenigstens vor dem Kolben, luftdicht schliefsen mufs, dort zwar von Aufsen nach Innen, statt wie bei No. IV. von Innen nach Aufsen, was indessen keinen wesentlichen Unterschied macht, wird die Luftdichtigkeit der Klappe dadurch hervorgebracht, dafs sie sich von oben nach unten in einen Falz legt, der mit einer aus Wachs und Öl zusammengesetzten Masse gefüllt ist; und da diese Masse nur dann einen luftdichten Verschlufs giebt, wenn sie bis zur Flüssigkeit *erwärmt* ist, so führt die Triebstange einen mit glühenden Kohlen gefüllten Behälter mit sich fort, über die verdichtende Masse hin, welche nun die Kohlen schnell erwärmen und flüssig machen müssen. Dieses Mittel liefse sich vielleicht auch hier bei No. IV. anwenden; denn man könnte den durch die Kohlen erhitzten Behälter vielleicht *im Innern des Kolbens* anbringen; aber die Art des Verschlusses ist doch unstreitig nur sehr unvollkommen; denn die Kohlen können vor der Zeit erlöschen, und, wenn dies auch nicht geschieht, so erfolgt doch die Erwärmung und Flüssigmachung der Masse jedenfalls immer nur sehr un-

vollkommen, indem der erwärmende Behälter gar zu *schnell* über die zu erwärmende Masse hinstreicht. Nimmt man nemlich auch nur eine Geschwindigkeit von 4 Meilen in der Stunde an, was 26⅔ F. in der Secunde ausmacht, und den erwärmenden Behälter 6 F. lang (bei Dublin ist er nur 3 F. lang), so bleibt jeder Punct der zu erwärmenden Verdichtungsmasse nur $\frac{1}{4}.26\frac{2}{3}$, also noch nicht *eine Viertel-Secunde* mit dem erwärmenden Behälter in Berührung, und in dieser so ungemein kurzen Zeit kann die Erwärmung gewifs nur sehr unvollkommen geschehen. Auch schliefst die Klappe bei Dublin, den *Mallet*schen Versuchen zufolge, undicht genug. In etwa 10 Minuten hat sie wieder ganz die äufsere Luft in die Röhre, die etwa bis auf ⅓ der Luftmasse ausgeschöpft war, eindringen lassen. Ob die Undichtigkeit bei dieser Art des Verschlusses gröfser oder geringer sein würde, wenn die Klappe, wie hier bei No. IV., einem *stärkern* Luftdrucke, vielleicht von 4 bis 5 Atmosphären, zu widerstehen hat, während bei Dublin nur höchstens ⅔ Atmosphären darauf drücken, läfst sich im Voraus nicht sagen; schwerlich aber würde wohl die Undichtigkeit *geringer* sein. Auch ist jedenfalls die stete Erneuerung der Verdichtungsmasse und der erwärmenden Kohlen unbequem, beschwerlich, und selbst kostbar. Wir schlagen daher folgende andere Art der Anordnung der Klappe und ihres Verschlusses, und zwar sogleich für den schwierigsten Fall No. IV. *ohne* Verdichtungsmasse vor; welcher Verschlufs allem Anschein nach dichter und haltbarer sein dürfte.

7.

Die Figuren 1, 2, 3, 4, 5 und 6 Taf. I. und II. stellen diese Constructionen vor; und zwar *zwei verschiedene Arten* der Anordnung der Klappe und ihres Verschlusses; Fig. 1, 2 und 3 die eine, Fig. 4, 5 und 6 die andere Art.

Es ist eine Triebröhre von 14 Zoll im Durchmesser im Lichten weit, ungefähr so weit wie die bei Dublin, angenommen. Der Längsdurchschnitt Fig. 3 stellt nur die halbe Länge des *Kolbens* vor, und die Linie *ab* geht durch die *Mitte* der *Triebstange T*. Die andere nicht gezeichnete Hälfte des Kolbens ist ganz der gezeichneten Hälfte gleich, nur natürlich in *entgegengesetzter* Lage. Für die *ganze* Länge des Kolbens ist 12 F. angenommen, so dafs *kc* = 6 F. ist. Die Theile des Kolbens *K*, *K* an den beiden Enden desselben, welche *eigentlich* zum Verschlufs der ganzen *Röhre*, (bei No. I. und II.), hier bei No. IV. nur zum Verschlufs der *Klappe* bestimmt sind, mögen jeder 6 Zoll lang sein, so dafs zwischen ihnen noch 11 F. Länge

bleiben. Diese Theile des Kolbens, oder die *eigentlichen Kolben*, mit ihrer Verliederung, sind nur andeutungsweise gezeichnet, und man kann sie nach Belieben auf eine oder die andere der verschiedenen bekannten Arten noch besser und dichter einrichten.

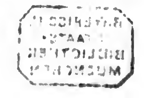
Hier bei No. IV., wo die Luft in der *ganzen* Röhre *vor* und *hinter* dem Kolben *gleich stark* zusammengeprefst sein soll, verschliefsen die Theile *K, K* an den beiden Enden des Kolbens die Röhre *nicht ganz*, sondern nur die *obere Hälfte* derselben. Durch die *untere Hälfte R* strömt die Luft, so wie der Kolben sich fortbewegt, frei hindurch. Bei No. I. und II. müssen natürlich die Kolbentheile *K, K* die Röhre *ganz* verschliefsen. Bei No. IV. wird nemlich der Kolben nicht durch *den Druck der Luft* auf sein eines Ende fortgetrieben, wie bei No. I. und II., sondern durch den *Luftwagen*, der die zusammengeprefste Luft aus der Röhre schöpfen soll.

Dieses Ausschöpfen geschieht vermittels der Röhren *S, S, in* der Triebstange *T* Fig. 2 und 3, welche unten bei *s, s* offen sind und daselbst *keine* Klappen haben. Sie haben ihre Verschlufsklappen oben im Luftwagen. Die Triebstange ist 30 Zoll lang und 2 Zoll dick angenommen. Jede der beiden Röhren *S, S*, welche die Luft aus der *untern* Hälfte der Triebröhre schöpfen, ist 6 Zoll lang und 1½ Zoll breit; die eine biegt sich nach rechts, die andere nach links. Der obere Theil des Kolbens ist durch den festen Boden *B, B* von dem untern getrennt, durch welchen Boden die Schöpfröhren *S, S* bei *s, s* hindurchgehen. Die *obere* Hälfte des Kolbens ist also durch den Boden *B, B* und die Kolbentheile *K, K* an den Enden des Kolbens dem Zutritt der zusammengeprefsten Luft gänzlich verschlossen.

Es läfst sich hier zunächst das Bedenken aufstellen, dafs von dem Kolben, indem er sich in der die Röhre anfüllenden zusammengeprefsten Luft mit grofser Geschwindigkeit fortbewegt, der obere verschlossene Theil einen sehr bedeutenden Widerstand an der Luft finden werde, welcher die Bewegung hemme. Aber dieser Widerstand ist nicht eben sehr grofs. Stöfst nemlich die *atmosphärische* Luft eine Fläche von a Quadratfufs mit v F. Geschwindigkeit in der Secunde, so ist der Stofs gleich $0{,}0017583\,av^2$ Pfund. (Man sehe z. B. Band 10. dieses Journals S. 267.) Hat die Luft die Spannung oder Dichtigkeit von n Atmosphären, und ist also specifisch $n$mal so schwer, so beträgt der Stofs $n$mal so viel, folglich

$$1. \quad 0{,}0017583\,nav^2 \text{ Pfund.}$$

Es bewegt sich hier zwar nicht die Luft, sondern die obere Fläche des Kol-



bens fort; was aber einerlei ist. Nun ist hier die gestofsene Fläche a erst ein Halbkreis von 14 Zoll im Durchmesser, also von 77 Q. Zoll, und dann noch der halbe Ring am untern Theile des Kolbens von 10 Q. Z. Fläche, also ist $a = \frac{87}{144} = 0{,}604$ Q. F. Nimmt man eine Geschwindigkeit von 6 Meilen in der Stunde an, so ist $v = 40$ F.; und nimmt man an, die Luft in der Röhre solle bis zu der Spannung von 6 Atmosphären zusammengeprefst sein, so ist $n = 6$. Dieses giebt zufolge (1.) einen Stofs von

$$2. \quad 0{,}0017583 \,.\, 6 \,.\, 0{,}604 \,.\, 40^2 = 10{,}195 \text{ Pfund.}$$

Dieser Widerstand von etwa 10 Pfd. ist nicht bedeutend, da der Luftwagen, um einen mäfsigen Wagenzug von nur 1000 Ctr. schwer auf horizontaler Bahn fortzuziehen, schon wenigstens 450 Pfd. Zugkraft haben mufs, von welcher die obigen 10 Pfund nur ein sehr kleiner Theil sind.

Das Obige wäre im Allgemeinen für No. IV. die Einrichtung des Kolbens und der Triebstange mit der Schöpfröhre. Wir kommen jetzt zu dem Schlitz der Triebröhre und ihrer Klappe.

8.

Der *Schlitz* oben in der Triebröhre ist für die *erste Art* der Klappe, Fig. 2. und 3., 3 Zoll breit angenommen. Die Zusammensetzung der *Klappe* zeigen Fig. 1. und 2. im Querschnitt und Fig. 3. im Längsdurchschnitt. Die Klappe ist aus 3 Zoll langen Stücken Eisen, deren je drei über einander liegen, zusammengesetzt. Das untere Stück r ist $4\frac{1}{2}$ Zoll breit, in der Mitte 6 Linien dick, unten nach dem Bogen der Röhre geformt, und legt sich in die Falze der Röhre f. Das mittlere Stück ist 18 Linien und das obere 9 Linien dick. Das mittlere Stück ist *ganz* mit starkem, dichtem Leder *umgeben*, nach Fig. 1. und 2., so dafs dieses Leder sowohl zwischen den untern und mittlern, als zwischen den mittlern und obern eisernen Stücken der Klappe liegt, desgleichen die Seiten des mittleren Stücks bedeckt; und zwar geht dieses Leder *continuirlich* durch die ganze Länge der Klappe hindurch, so dafs es also zugleich alle *Fugen* zwischen den eisernen Stücken der Klappe *zweimal* bedeckt. Die Schrauben b, mit versenkten Köpfen, pressen, mäfsig angezogen, alle drei Eisenstücke der Klappe zusammen und das zwischen ihnen liegende Leder etwas fest. So entsteht für die Klappe, die nun, zusammen mit den beiden Lederstreifen, 3 Zoll dick ist, ein *Continuum*, welches aber, so weit es nöthig, vermöge der beiden Leder *biegsam* und *dehnbar* ist. Beides ist nothwendig; denn so wie die Triebstange T mit dem Kolben K, K vorrückt,

z. B. von der Rechten nach der Linken in Fig. 3., drücken die drei Rollen *g, g, g,* welche in dem an der Triebstange *T* befestigten Arm *A* laufen, die Klappe allmälig bis *unter* die Triebstange, nemlich bis in die in Fig. 2. und 3. gezeichnete Lage *L nieder,* während zugleich die zwei Rollen *h, h* auf der *andern* Seite der Triebstange, in der *nicht* gezeichneten Hälfte des Kolbens rechts, die Klappe wieder an ihren Ort bringen. Sollte sich der Kolben blofs nach *einer* Richtung, z. B. nur von rechts nach links bewegen, so wären die Rollen *g, g, g,* nur für die linkseitige und die Rollen *h, h* nur für die rechtseitige Hälfte des Kolbens nöthig. Soll dagegen der Kolben, wie es in der Regel der Fall sein wird, hin und zurück sich bewegen können, so müssen sowohl die drei Rollen *g, g, g,* als die zwei Rollen *h, h,* an *jeder* der beiden Seiten der Triebstange vorhanden sein. Bei der Bewegung von rechts nach links sind dann nur die Rollen *g, g, g* links und die Rollen *h, h* rechts von der Triebstange *wirksam;* die Rollen *h, h* links und die Rollen *g, g, g* rechts sind *müfsig.* Bei der Bewegung in entgegengesetzter Richtung verhält es sich umgekehrt.

Da also nun die Klappe von den Rollen *g* bis in die Lage *L* Fig. 2. und 3. *unter* die Triebstange niedergedrückt wird, so mufs sie so viel, als dazu nöthig ist, *biegsam* und zugleich um so viel *dehnbar* sein, als die krumme Linie *vvv* Fig. 3. *länger* ist, als die Entfernung von dem Kolbentheile *K* bis zur Triebstange *T.* Beide Eigenschaften wird sie durch die zwischen die Eisenstücke gelegten Leder erlangen. Die Entfernung von der innern Seite von *K* bis zur linken Seite von *T* beträgt nemlich in Fig. 3. 6 F. weniger 15 und 6 Zoll, also 51 Zoll. Die Klappe wird nach Fig. 2. und 3. nicht ganz 6 Zoll tief herabgedrückt. Hienach berechnet, ist die krumme Linie, welche die Klappe in Fig. 3. bildet, etwa um *4 Linien* länger, als sie, in dem Schlitz der Röhre liegend, sein würde. Um so viel mufs sich also die Klappe *dehnen* können. Es beträgt dies, auf $\frac{51}{3} = 17$ Eisenstücke vertheilt, von einem Schraubenbolzen *b* bis zum nächsten, etwa $\frac{1}{4}$ Linie; um welche sich das Leder auf 3 Zoll lang dehnen mufs. Dies dürfte wohl geschehen, da es nur den $\frac{1}{3.12.4} = 144$ten Theile der Länge beträgt. Fürchtete man etwa, dafs dies noch zu viel sein werde, so dürfte man den Kolben nur noch länger als 12 F. machen. Doch wird man die Befürchtung ungegründet finden, wenn man erwägt, dafs sich bei der Dubliner Klappe das Leder sogar scharf um die Ecke fortwährend um einen Winkel von 45 Graden biegen mufs, und wirklich biegt; welches eine, bei weitem stärkere Dehnung und Wiederzusammenziehung erfordert.

Die *Biegsamkeit* erhält die Klappe dadurch, dafs die einzelnen Eisenstücke, wie es die Zeichnung andeutet, der Länge noch nicht ganz scharf zusammenstofsen, sondern Fugen zwischen sich lassen, die etwa ¼ Linie breit sein müssen. Durch diese Fugen wird allerdings von oben etwas Nässe in die Klappe bis auf das obere Leder hineindringen können; aber dies ist um so weniger von Belang, da die Nässe durch den Gebrauch und die Biegung der Klappe immer bald wieder hinausgeprefst wird. Die Klappe wird also auch nicht, wie die Dubliner, noch einen besonderen Schutz gegen Regen und Schnee von oben nöthig haben, sondern es wird hinreichend sein, den obern Eisenstücken *e* Fig. 1. und 2. eine kleine Abdachung zu geben, damit das Wasser abfliefsen könne.

Die den *luftdichten Verschlufs* der Klappe bezweckende Anordnung zeigen ebenfalls Fig. 1. und 2. Auf die obere gerade Fläche der Ränder der gegossenen Triebröhre sind nemlich zu beiden Seiten des Schlitzes zunächst eiserne, 6 Linien dicke, 3 Zoll breite Stangen *m, m* gelegt, oben, unten und nach innen von Leder umgeben. Auf diesen Stangen *m, m* liegen andere, 16 Linien hohe eiserne Stangen *n, n*, jede mit einem Ausschnitt *l*. Die Stangen *m* und *n* werden unter einander und mit der Triebröhre durch die Schraubenbolzen *p, p* fest zusammengeschraubt und dadurch zugleich die Lederstreifen zwischen ihnen eingeprefst.

In die Ausschnitte *l, l* der obern Stangen *n, n* sind zwei *lederne luftdichte Röhren* gelegt, welche die Ausschnitte ganz ausfüllen. In diese Röhren wird *Luft geprefst*, bis zu einer Spannung, welche die der Luft in der Triebröhre etwa um eine Atmosphäre *übersteigt*. Vermöge dieser Pressung werden sich die Wände der ledernen Röhre *oben, unten* und nach *aufsen* fest an das sie umgebende Eisen legen: die Wände *q* Fig. 2. nach innen dagegen werden gegen das Leder der *Klappe* geprefst. Befindet sich die Klappe *in* dem Schlitz, wie in Fig. 1., so prefst sie die innere Wand *q* der ledernen Röhre *l* gerade: befindet sie sich dagegen *aufserhalb* des Schlitzes, wie in Fig. 2., so prefst die Luft in *l* die Wand bogenförmig hinaus und in den Schlitz hinein; nach *q, q* Fig. 2. Diese Form behält sie, bis die Klappe wieder den Schlitz füllt und die Wand wieder gerade prefst. Da nun die Wand *q* um eine Atmosphäre *stärker* gegen die Klappe geprefst wird, als die Kraft, mit welcher die Luft aus der Triebröhre, wenn sie ja bis nach *q* durchdringen sollte, sie zurückdrücken würde, so kann die Luft aus der Röhre nicht

durch die Fuge dringen, und die lederne Röhren *l, l* verschliefsen die Klappe nothwendig *luftdicht.*

Eine starke *Abnutzung* des Leders am Verschlusse ist schwerlich zu fürchten, da nur Leder auf Leder sich reibt; und nur langsam; auch nur auf einige Zoll breit. Allem Anschein nach läfst sich also dieser Art des Verschlusses, *ohne* eine *jedesmal flüssig zu machende Verdichtungmasse, vollkommene Luftdichtigkeit* zutrauen. Ob es gut sein werde, das sich reibende Leder durch Öl geschmeidig zu erhalten, oder es trocken bleiben zu lassen, würde die Erfahrung lehren müssen.

10.

Die *zweite* Anordnung der Klappe und ihres Verschlusses machen Fig. 4., 5. und 6. vorstellig. Hier besteht die Klappe wieder, ganz wie bei der ersten Art, aus 3 Zoll langen, über einander gelegten Eisenstücken; nur mit dem Unterschiede, dafs die mittleren, ganz von Leder umgebenen Stücke nicht fest, sondern *hohl* sind. Sie haben oben und unten feste Böden, nach den Seiten des Schlitzes hin durchbrochene Wände, wie es Fig. 6. zeigt, und nach der Länge der Klappe hin gar keine Wände. So bildet das die mittleren Stücke umgebende Leder eine fortlaufende lederne *Röhre,* in welche nun Luft geprefst wird, mit einer Spannung, die wieder um etwa eine Atmosphäre stärker ist, als die der Luft in der Triebröhre. Die hier gegen die mittleren Stücke der Klappe treffenden, an drei Seiten mit Leder umgebenen untern Stücke *m, m* auf der Triebröhre sind, eben so wie die obern Stücke *n, n,* anders wie bei der ersten Art, fest, und ohne weitere Erklärung ist leicht zu sehen, dafs eine ähnliche Wirkung erfolgen wird, wie bei der ersten Art. Befindet sich die Klappe *aufserhalb* des Schlitzes, wie in Fig. 5., so bläht sich die lederne Röhre, welche die mittleren Stücke der Klappe umgiebt, wie bei *q, q* Fig. 5., bogenförmig auf: befindet sich dagegen die Klappe *in* dem Schlitz, nach Fig. 4., so prefst die Luft in der Klappenröhre die Wände *q, q* stark gegen das Leder der Schlitzwandstücke *m, m* und verschliefst so die Klappe luftdicht. Alles Übrige ist Dasselbe, wie bei der ersten Art. Welche von den beiden Arten der Klappe und ihres Verschlusses die bessere sei, würde wieder die Erfahrung lehren müssen. Dafs beide Arten einen vollkommen luftdichten und lange haltbaren Verschlufs geben werden, ist sehr wahrscheinlich. Den luftdichten Verschlufs der Klappe insbesondere dadurch hervorzubringen, dafs man zusammengeprefste Luft die Wand einer ledernen Röhre

gegen eine andere feste Wand pressen läfst, ist eine Nachahmung des Vorschlages des Herrn *Hallette* zu einem andern luftdichten Verschlufs der Längsklappe der Triebröhre bei atmosphärischen Eisenbahnen; nur würde bei der gegenwärtigen Art die Reibung und die Abnutzung geringer sein.

11.

Wie in §. 6. bis 10. beschrieben, würde es sich mit No. IV. (§. 4.) verhalten.

Für No. II., wo ebenfalls die Luft in der Triebröhre *zusammengeprefst* werden soll, aber nicht gleich vom Anfang in der *ganzen* Röhre, sondern nur *hinter* dem Kolben, ändert sich an der Einrichtung von No. IV. nichts weiter, als dafs hier die *Kolbenköpfe K, K* Fig. 3. an den Enden des Kolbens nicht mehr blofs die obere *Hälfte* der Triebröhre, sondern ihren *ganzen* Querschnitt verschliefsen, dafs die Saugröhren *S, S* in der Triebstange *T* wegfallen, so dafs diese Stange nicht mehr hohl, sondern fest ist, also hier dünner und weniger schwer sein kann, und dann, dafs auch der feste Boden *BB* (Fig. 3.) im Kolben wegfällt und die Kolbenköpfe, statt durch ihn, blofs durch zwei starke eiserne Stangen und vielleicht noch durch eine dritte, mitten unter den beiden, mit einander verbunden werden. Nach den beiden obern Stangen biegt sich die untere, wieder gabelförmige Triebstange hin, und die Stangen tragen zugleich die Rollen *h, h*. Die Längsklappe und ihr Verschlufs, nach der einen oder der andern der oben beschriebenen Arten, bleibt völlig dieselbe. Die Construction von II. ist also im wesentlichen die von No. IV., aber einfacher.

12.

Auch die Construction für No. I., nemlich für die eigentlich sogenannte atmosphärische Eisenbahn mit *verdünnter* Luft *vor* dem Kolben, geht unmittelbar und durch eine blofse Vereinfachung aus der von No. IV. hervor. Auch hier verschliefsen wieder die Kolbenköpfe *K, K* nicht, wie bei No. IV., blofs den *halben* Querschnitt der Triebröhre, sondern, wie bei No. II. (§. 11.), den *ganzen* Querschnitt. Der feste Boden *BB* fällt weg und die Kolbenköpfe werden, statt durch ihn, durch drei starke eiserne Stangen mit einander verbunden, deren obere die Triebstange fafst und zugleich die zum *Heben* der Klappe nöthigen Rollen trägt. Auch die Saugröhren *S, S* in der Triebstange fallen weg und die Stange ist nicht mehr hohl, sondern fest, und kann dünner

und leichter sein. Die Einrichtung der Längsklappe und ihres Verschlusses ist ebenfalls, nach der einen oder der andern der oben beschriebenen Arten, im *wesentlichen* der bei No. IV. im Princip gleich, und bekommt nur, weil hier die Klappe nicht *von innen nach aufsen*, sondern von *aufsen nach innen* von der Luft angedrückt wird, die dazu nöthigen Veränderungen, die auch ohne besondere Zeichnungen und Erörterungen leicht zu erachten sind. Die beiden Luftröhren *l*, *l* in Fig. 1. und 2. und die eine in Fig. 4. und 5. liegen nemlich hier tiefer in den Falzen *f*, *f*, und befinden sich aufsen statt innen. Die Triebstange biegt sich nicht *innerhalb* der Triebröhre *halb* um die Klappe herum, sondern *aufserhalb* der Röhre, dicht über den Lippen des Schlitzes, *ringförmig ganz*, so dafs die Klappe wie durch ein Loch in der Triebstange durch dieselbe hindurchgeht. Die Rollen *g*, *g*, *g* endlich, welche hier die Klappe *aufheben* müssen, befinden sich im *Innern* der Triebröhre an der Stelle der Rollen *h*, *h* Fig. 3. und werden von der obern, mittlern, die Kolbenköpfe verbindenden Stange getragen; die Rollen *h*, *h* dagegen, welche die Klappe wieder andrücken, befinden sich *aufserhalb* der Triebröhre und werden entweder von einem Arm *A* an der Triebstange, oder sonst von dem vordern Wagen getragen.

13.

Die Construction von No. III. stellen die Figuren 7., 8. und 9. vor.

Auf die Querhölzer *Q*, *Q*, welche die Schienen der Eisenbahn tragen, werden in der Mitte zwischen den Bahnschienen, 1 F. von einander entfernt, 9 Zoll breite, 6 Zoll dicke Längshölzer *L*, *L* gekämmt. Auf diese Längshölzer wird ein 2¾ F. breiter Boden *B*, *B* aus 2 Zoll dicken, 4 Zoll breiten, gespundeten, oben ganz glatt behobelten eichenen Bohlen gelegt, die auf die Längshölzer *L*, *L* nicht *angenagelt*, sondern jede auf jeden Längsbalken mit zwei Holzschrauben mit versenkten Köpfen *angeschraubt* sind. Dieses, und dafs man den Bohlen nur die geringe Breite von 4 Zoll gebe, ist nöthig, damit sich die Bohlen nicht *werfen* können und der Boden stets völlig eben und glatt bleibe.

Die Triebröhre *T*, welche durch die eingetriebene Luft vor dem Triebrade *R* aufgebläht werden soll, um dadurch das Rad und den Wagenzug fortzutreiben, ist aus starkem Leder gemacht. In Fig. 7. sieht man, im Längsdurchschnitt, wie sich die Röhre vor dem Rade allmälig aufbläht; in Fig. 8. sieht man sie ganz aufgeblasen im Querschnitt, und in Fig. 9., wie sie ganz zusammengefalzt und unaufgebläht unter dem Rade liegt. *w*, *w* sind lederne,

an der Röhre innerhalb befestigte, 1 Zoll, oder auch noch etwas mehr im Durchmesser haltende Wulste, deren Zweck ist, zu verhindern, dafs das Leder der Röhre, wenn das Rad sie auf dem Boden zusammenprefst, nicht zu scharef Biegungen machen dürfe, durch welche es bald brüchig werden würde. Die Röhre ist 2 F. im Lichten weit und 6 Zoll hoch angenommen, so dafs sie *Einen Quadratfufs* lichten Querschnitt hat. Soll sie etwa gröfser oder kleiner sein, so ändert sich danach die Breite des Bodens *BB*. Doch wird die Röhre nicht leicht *gröfser* nöthig sein. Mit 1 Q. F. Querschnitt bringt schon, wie sich weiter unten zeigen wird, eine mäfsige Luftspannung so viel Triebkraft hervor, als je nöthig sein kann. Immer aber wird es gut sein, die Röhre *viel breiter als hoch* und also möglichst *niedrig* zu machen; nemlich damit die Biegung vor dem Rande bei *b* Fig. 7. so gering als möglich sei.

Die *untere* Fläche oder der *Boden* der ledernen Röhre ist auf den hölzernen Boden *BB* durch Nägel mit breiten, flachen und dünnen Köpfen befestigt, und zwar in *schräg* quer über den Boden laufenden Linien, damit das Rad immer *nur auf einen* Nagel zugleich treffe. Auf der *obern* Fläche oder der *Decke* der Röhre sind dicht neben einander, nur etwa ½ Linie von einander entfernt, eiserne, 2 Zoll breite, ½ Zoll dicke und 2 F. 8 Zoll lange eiserne Schienen *ss* mittelst durchgehender Niete befestigt, welche oben und unten dünne, flache Köpfe haben, die wieder möglichst nicht ganz in geraden querüber laufenden Linien sich befinden. Auf diese Schienen rollt das Triebrad hin.

Das Triebrad *R* besteht aus *drei* Rädern neben einander, jedes 4 Zoll breit und jedes der äufsern 7½ Zoll von dem mittleren entfernt (Fig. 9.). Alle drei stecken auf derselben Achse fest und befinden sich in der Mitte der Breite und der Länge des vordern Zugwagens. Sie sind in der Zeichnung, gleich den Triebrädern am Dampfwagen, 5 F. im Durchmesser angenommen.

Man sieht aus dieser Beschreibung, dafs der in §. 4. No. III. gedachte Vorschlag des Ungenannten zu einer durch Luft aufzublähenden Triebröhre auf Eisenbahnen ganz wohl practisch ausführbar sein dürfte.

14.

Der *Luftwagen* für No. V. §. 4. würde, was die Cylinder, die Kolben, das Gleitventil, die Kurbeln an der Trieb-Achse, die Lenkung, die Vorrichtungen um vor- und rückwärts zu fahren, und die Triebräder betrifft, genau *dieselbe* Einrichtung bekommen, welche alle diese Theile an den *Dampfwagen*

haben. Nur fallen hier der Schornstein, der Dampfkessel und die Esse weg, und an deren Stelle treten Behälter für die *zusammengeprefste Luft*, deren Spannung hier die bewegende Kraft ist, statt der Spannung des Dampfes.

Die Hauptfrage ist, ob sich eine hinreichende Masse zusammengeprefster Luft, von einer nicht gefahrbringenden Spannung, und ohne dafs der Wagen gar zu schwer wird, mit fortführen lasse, um durch ihre Spannkraft unter den verschiedenen Umständen einen hinreichend beträchtlichen Wagenzug eine namhafte Strecke Weges fortzutreiben. Diese Frage wird weiter unten erörtert werden. Wir setzen hier einstweilen bei der Beschreibung der Anordnung des Wagens die *Möglichkeit* davon voraus.

Es kommt zunächst auf die den Luftbehältern zu gebende *Form* an. Offenbar würde die *Kugelform* die beste sein, weil die Kugel einen Raum mit der geringsten Fläche einschliefst und also die wenigste Eisenmasse und das geringste Gewicht hat. Aber kugelförmige Luftbehälter, möge man nur einen machen, oder die Luft auf mehrere Kugeln vertheilen, würden sich nur unbequem auf den Wagen laden und darauf befestigen lassen. Besser dürfte es sein, den Behältern die *Cylinderform mit halbkugelförmigen Böden* zu geben.

Es fragt sich weiter, ob es besser sein werde, *nur einen* grofsen Behälter zu machen, oder die Luft auf *mehrere* Behälter von der eben beschriebenen Form zu vertheilen. Für die nöthige Eisenmasse, und folglich für die Kosten und das Gewicht, ist beides ungefähr *gleich*. Denn die zum Widerstande gegen eine gleiche Luftspannung nöthige Dicke des Eisens nimmt in geradem Verhältnifs des Durchmessers des Cylinders zu; der Umfang des Cylinders ebenfalls: also mufs die *Masse* der *Wände* des Cylinders in geradem Verhältnifs des *Quadrats* des Durchmessers zunehmen. *In demselben* Verhältnifs nimmt der *Raum-Inhalt* des Cylinders zu, und folglich ist es in Absicht des Gewichts und der Kosten ungefähr *gleich*, ob man die Luft in *nur einen*, oder in *mehrere* Behälter einschliefst. Aber ein einzelner, grofser Cylinder hat Unbequemlichkeiten beim *Aufladen* und bei der *Befestigung*, und aufserdem auch die Schwierigkeit, ihn aus so dickem Eisen zu *verfertigen*, als nöthig sein würde. *Mehrere* Cylinder sind daher schon deshalb besser, als *einer;* aus andern Ursachen aber (weiter unten) sind sie *nothwendig*. Es wird wahrscheinlich am angemessensten sein, den Cylindern, welche man 15 bis 20 F. lang machen könnte, nur 1, höchstens 2 Fufs lichten Durchmesser zu geben. Solche Cylinder würden 15 bis 60 Cub. F. Raum-Inhalt haben. Quer über den Wagen würden drei oder vier senkrechte Wände von Holz

mit kreisförmigen Ausschnitten zu errichten sein, in welche Ausschnitte die Cylinder gelegt werden; oder man könnte auch die Cylinder durch eiserne Gitterwerke unterstützen.

Aber aufser diesen Cylindern mufs noch *ein zweiter, kleinerer* Behälter vorhanden sein. Da nemlich die Spannung der zusammengeprefsten Luft in dem grofsen Behälter anfangs vielleicht *bei weitem* stärker sein wird, als gerade am Anfange zum Forttreiben der Kolben in den Cylindern der Maschine nöthig ist, auch die Spannung allmälig *abnimmt*, so wie die Luft nach und nach verbraucht wird, mithin einerseits die Spannung abnehmend *veränderlich* ist, während andrerseits die Stärke der Kraft, welche die Kolben in den Cylindern bedürfen, nach einer ganz andern, von der Spannung der Luft in dem grofsen Behälter *unabhängigen* Regel sich abwechselnd ändert, je nachdem der Wagenzug bergan, oder horizontal, oder bergab zu treiben ist: so darf die Luft aus dem grofsen Behälter durchaus nicht *unmittelbar* auf die Kolben in den Maschinen-Cylindern geleitet werden, sondern man mufs sie erst in einen andern kleinen Behälter treten lassen, in welchem ihr diejenige Spannung gegeben wird, die gerade jede Wegestrecke fordert; was leicht durch einen Hahn in der Röhre geschehen kann, welche die Cylinder mit dem kleinern Behälter verbindet. Diesen Hahn lenkt die Hand des Wagenführers. Der Führer öffnet ihn ein wenig, so wie die Geschwindigkeit verstärkt werden soll, und verschliefst ihn ein wenig mehr, wenn die Bewegung zu mäfsigen ist. Er verschliefst ihn *ganz*, sobald die Fahrt *so stark* bergab geht, dafs die Kraft der Schwere allein den Wagenzug forttreibt. Hier findet sich dann auch noch, wie sich weiter unten zeigen wird, der vortheilhafte, eigenthümliche Umstand, dafs, wenn der Abhang der Bahn so sehr stark ist, dafs die Schwere *mehr* Triebkraft hervorbringt, als zur Fortbewegung nothwendig ist, die Maschine selbst von aufsen Luft in den kleinen Behälter wieder *einprefst*, und also der Überschufs der bergabtreibenden Kraft, wenigstens zum Theil, *während* der Fahrt für die folgenden Strecken *benutzt* wird: ein Vortheil, der der Bewegung durch *Dampfkraft* ganz abgeht. Der zweite kleine Behälter wird hinreichend grofs sein, wenn er etwa 50 bis 60 Triebcylinder voll Luft fafst.

Da man Luft von der *stärksten* Spannung bis ans *Ende* der Fahrt nöthig haben kann, so müssen die Cylinder, welche die zusammengeprefste Luft enthalten, nicht alle, sondern nur theilweise unter *einander*, und dann diese Theile *einzeln* mit dem kleinen, die Spannung nach Bedürfnifs regelnden Be-

hälter in Verbindung stehen, so dafs sich die Cylinder allmälig *gruppenweise* ausschöpfen lassen, bis zuletzt nur noch einige, und wenigstens ein Cylinder voll Luft von der *stärksten* Spannung übrig bleibt.

Dieses ungefähr wäre die Beschreibung der in §. 4. aufgezählten Constructionen zu der verschiedenartigen Benutzung der Spannung der Luft als bewegende Kraft auf Eisenbahnen. Wir hoffen und glauben, dafs die Beschreibung zunächst die *technische Ausführbarkeit* der verschiedenen Constructionen nachgewiesen haben werde, und schreiten also nun zu der Berechnung und Vergleichung der Wirkungen der verschiedenen Anordnungs-Arten. Diese Berechnungen werden weniger unsicher sein, als es wohl sonst häufig in der Technik der Fall ist, da, wo man zu dem Resultate nicht anders gelangt, als mit Hülfe von mehr oder weniger *Hypothesen*. Hier kommen dergleichen beinahe nicht vor; vielmehr gehen die Rechnungen fast nur von unbestrittenen Sätzen der Mechanik und Physik aus, und die Neben-Einflüsse auf die Resultate, welche ohne Hypothesen nicht in Rechnung zu bringen sein würden, sind nicht so bedeutend, dafs sie die Resultate wesentlich ändern könnten.

IV. Verdünnung und Verdichtung der Luft in der Triebröhre.

15.

Eine erste Frage wäre für No. I. und II. §. 4., ob es *vortheilhafter* sei, die Luft *vor* dem Kolben in der Triebröhre *auszupumpen*, oder vielmehr zu *verdünnen*, oder, sie *hinter* dem Kolben *zusammenpressen;* nemlich: welches von beiden den *geringsten Kraft-Aufwand* erfordere. Für die *Wirkung* ist es offenbar gleich, man mag die Luft *vor* dem Kolben bis z. B. auf *eine halbe* Atmosphäre Spannung *verdünnen*, oder sie hinter dem Kolben bis auf *anderthalb* Atmosphären Spannung *verdichten;* der *Ueberschufs*, und folglich die bewegende Kraft, ist in beiden Fällen *eine halbe* Atmosphäre.

Wird die Luft vor dem Kolben ausgepumpt, so mufs es zunächst *vor* dem Anfange der Bewegung, und also aus der *ganzen* Röhre geschehen. Zugleich mufs die während *dieser* Zeit, also schon *vor* dem Anfange der Bewegung durch das immer nicht *vollkommen* dichte Längsventil wieder eindringende Luft ausgehoben werden. Dann aber mufs ferner auch *während* der Bewegung des Kolbens die Luft vor demselben, nebst der wiederum durch die Klappe während der Bewegung eindringenden Luft, ausgepumpt werden; und zwar *gerade so schnell*, als die Bewegung erfolgt; denn unterbliebe *dieses*

Auspumpen, so würde, da der Raum vor dem Kolben nicht *luftleer* war, sondern noch Luftmasse enthielt, diese, so wie der Kolben fortrückt, wieder verdichtet werden, und also die bewegende Kraft stetig *abnehmen*. Wäre z. B. die Luft vor dem Anfange der Bewegung bis auf eine halbe Atmosphäre Spannung ausgepumpt gewesen, so würde die übrig gebliebene Luft, nachdem der Kolben seinen *halben Weg* zurückgelegt hat, wieder bis auf eine ganze Atmosphäre verdichtet sein und also die bewegende Kraft dann schon auf dem halben Wege aufhören.

Wird dagegen die Luft *hinter* dem Kolben *verdichtet*, so mufs es so schnell geschehn, dafs die Luft in dem stets zunehmenden Raume hinter dem Kolben immer diejenige Spannung bekommt, die zu der Triebkraft des Kolbens nöthig ist.

Nehmen wir an, es seien μ Atmosphären Triebkraft nöthig und der Raum-Inhalt der Triebröhre $= p$, so müssen, wenn man die Luft *vor* dem Kolben verdünnt, erst vor dem Anfange der Bewegung μp Cub. F. Luftmasse aus der Röhre gepumpt werden, wozu τ Secunden Zeit nöthig sein mögen, und dann *während* der Bewegung, welche t Secunden dauern mag, der *Rest* der Luftmasse. Zusammen also müssen immer, welcher echte Bruch auch μ sein mag, zusammen p Cub. F. atmosphärische Luft ausgepumpt werden, auch aufserdem noch diejenige, welche während der Zeit $\tau + t$ durch die Klappe wieder eindringt.

Wird dagegen die Luft hinter dem Kolben verdichtet, so mufs in der Zeitdauer t der Bewegung $(1+\mu)p$ Cub. F. Luft eingepumpt werden, und dann noch die, welche in der Zeit t während der Bewegung durch das Ventil wieder entweicht.

Hiernach wäre die zu dem Einen und dem Andern nöthige *Kraft* zu berechnen.

a. Erster Fall. Das Auspumpen der Luft aus der Triebröhre.

16.

Beim Anfange des Auspumpens hat die Luft in der Triebröhre die Spannung der Atmosphäre 1, und es befinden sich in der Röhre p Cub. F. atmosphärische Luft. Von dieser Luft sind *vor* dem Kolben μp Cub. F. auszupumpen, damit die Luft *hinter* dem Kolben das *Uebergewicht* μ bekomme. Da aber weiter unten der Fall zu erwägen sein wird, wo in einem auszupumpenden Raum beim Anfange der Bewegung *die Luft schon verdünnt ist*, so setzen wir, um diesen Fall sogleich mit zu umfassen, die Luft habe

schon Anfangs nicht mehr die Spannung 1, sondern nur noch die Spannung $1-\lambda$, so als wenn schon λp Cub. F. ausgepumpt wären und nun das Auspumpen so lange fortgesetzt werden sollte, bis die Spannung *vor* dem Kolben nur noch $1-\mu$ beträgt. Die Anwendung auf den gegenwärtigen wirklichen Fall geschieht dann blofs dadurch, dafs man $\lambda=0$ setzt.

A. Beim Anfange des Auspumpens also hat angenommenermafsen die Luft in der Röhre die Spannung und folglich die Dichtigkeit $1-\lambda$, und es befinden sich also in der Röhre $(1-\lambda)p$ C. F. atmosphärische Luft. Setzt man den Raum-Inhalt eines Kolbenhubes $=k$, so nimmt der erste Kolbenhub $k(1-\lambda)$ C. F. atmosphärische Luft aus der Röhre hinweg. Es bleiben demnach noch $p(1-\lambda)-k(1-\lambda)=(1-\lambda)(p-k)$ Cub. F. übrig, welche in den Raum p verbreitet sind. Die Luft in der Röhre hat also nach dem *ersten* Kolbenhube nur noch die Dichtigkeit $(1-\lambda)\frac{p-k}{p}$. Demnach nimmt der zweite Kolbenhub $(1-\lambda)(p-k)\frac{k}{p}$ atmosphärische Luft hinweg und es bleiben noch $(1-\lambda)(p-k)-(1-\lambda)(p-k)\frac{k}{p}=(1-\lambda)(p-k)\left(1-\frac{k}{p}\right)=(1-\lambda)\frac{(p-k)^2}{p}$ übrig, welche in dem Raum p verbreitet sind. Die Luft in der Röhre hat also nach dem *zweiten* Kolbenhube noch die Dichtigkeit $(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^2$, und folglich nimmt der dritte Kolbenhub $(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^2 k$ atmosphärische Luft hinweg, und es bleiben noch $(1-\lambda)\frac{(p-k)^2}{p}-(1-\lambda)\frac{(p-k)^2}{p}\cdot\frac{k}{p}=(1-\lambda)\frac{(p-k)^3}{p^2}$ atmosphärische Luft übrig. Die Luft nach dem *dritten* Kolbenhube hat in der Röhre noch die Dichtigkeit $(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^3$. Und so weiter. Nach n Kolbenschlägen bleiben demnach noch

$$3.\quad (1-\lambda)p\left(\frac{p-k}{p}\right)^n \text{ C. F. atmosphärische Luft}$$

in der Röhre übrig, von

$$4.\quad (1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^n \text{ Spannung oder Dichtigkeit.}$$

Nun soll die Spannung der Luft in der Röhre bis auf $1-\mu$ gebracht werden, damit der Kolben die Triebkraft μ bekomme: also mufs

$$5.\quad 1-\mu=(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^n$$

sein, woraus $\sqrt[n]{\left(\frac{1-\mu}{1-\lambda}\right)}=\frac{p-k}{p}=1-\frac{k}{p}$ und

$$6.\quad k=\left(1-\sqrt[n]{\left(\frac{1-\mu}{1-\lambda}\right)}\right)p, \text{ oder auch } p-k=p\sqrt[n]{\left(\frac{1-\mu}{1-\lambda}\right)}$$

folgt, wenn λ und n nächst p und μ gegeben sind; desgleichen $\log(p-k) = \frac{1}{n}[\log(1-\mu) - \log(1-\lambda)] + \log p$, also

$$7. \quad n = \frac{\log(1-\lambda) - \log(1-\mu)}{\log p - \log(p-k)},$$

wenn λ und k nächst p und μ gegeben sind.

Für den hier vorhandenen Fall $\lambda = 0$ giebt (6. und 7.)

$$8. \quad p-k = p\sqrt[n]{(1-\mu)} \text{ und}$$

$$9. \quad n = \frac{-\log(1-\mu)}{\log p - \log(p-k)}.$$

Die Triebröhre der Dubliner Eisenbahn hat nach Herrn *Mallet* 15 Engl. Zoll im Durchmesser und ist 2490 Yards lang, enthält also 9171 C. F. Engl. oder 8400 C. F. Pr. Für das Eindringen der Luft durch die Längsklappe während des Ausschöpfens werde nach Herrn *Samuda* 5 pr. C. also 420 C. F. gesetzt; also ist $p = 8820$. Die dortige Luftpumpe macht nach Herrn *Mallet* 22 Schläge in der Minute. Soll also die Röhre durch sie z. B. bis auf $1-\mu = \frac{1}{2}$ Atmosphären Spannung in 5 Minuten, folglich durch 110 Kolbenschläge ausgeschöpft werden, so müfste nach (8.) $p-k = p\sqrt[110]{\frac{1}{2}}$ sein. Dies giebt $k = 56$; also müfste der Luftpumpenstiefel 56 C. F. Raum-Inhalt haben. Für $n = 66$, oder wenn die Luft in 3 Minuten ausgeschöpft werden soll, ergiebt sich $k = 93$; für die Ausschöpfung in 2 Minuten $k = 138$. Der dortige Luftpumpenstiefel hat nach Herrn *Mallet* 67 Zoll Engl. im Durchmesser und 66 Zoll Hub, also 123 C. F. Preufs. Inhalt. Folglich kann durch denselben in etwas mehr als 2 Minuten die Luft aus der Triebröhre bis auf etwa $\frac{1}{2}$ Atmosphären Spannung ausgeschöpft werden; was auch bei den Versuchen des Herrn *Mallet* ungefähr geschehen ist.

B. Nachdem *vor* dem Anfange der Bewegung des Wagenzuges die Luft in der Triebröhre durch das Auspumpen von der Spannung $1-\lambda$ auf die Spannung $1-\mu$ gebracht worden ist, müssen nun weiter *während* der Fahrt die noch übrigen $(1-\mu)p$ Cub. F. atmosphärische Luft herausgezogen werden. Soll sich der Wagenzug auf einerlei Abhang mit *gleichförmiger* Geschwindigkeit bewegen, so mufs die Luft in der Triebröhre stets *dieselbe* Spannung behalten; denn nähme ihre Spannung ab, oder zu, so würde sich der Wagenzug geschwinder oder langsamer, also *ungleichförmig* bewegen. Jeder Kolbenhub mufs also jetzt $(1-\mu)k$ C. F. atmosphärische Luft hinwegnehmen, und folglich ist die Zahl der Kolbenschläge, welche die noch übrigen

$(1-\mu)p$ Cub. F. Luft hinwegnehmen müssen, und welche n_1 sein mag.

$$10. \quad n_1 = \frac{(1-\mu)p}{(1-\mu)k} = \frac{p}{k}.$$

In dem obigen Beispiel an der Dubliner Eisenbahn, wo $p = 8820$ und $k = 123$ war, giebt dies $n_1 = \frac{8820}{123} = 72$, und da die Luftpumpe 22 Schläge in der Minute machte, so mufste die Fahrt $\frac{72}{22} = 3\frac{3}{11}$ Minuten dauern; was ebenfalls bei den Versuchen des Herrn *Mallet* ungefähr der Fall gewesen ist.

C. Für den *n*ten Kolbenschlag, oder *vor* demselben, beträgt die Dichtigkeit oder Spannung der Luft in der Triebröhre noch $(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}$ (4.). Von innen also drückt die Luft auf den Kolben der Luftpumpe mit der Spannung $(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}$, von aufsen mit der Spannung 1 auf die Einheit der Fläche. Bezeichnet man daher die Fläche des Kolbens durch $\varkappa$ und durch σ den Druck der Atmosphäre in Pfunden auf die Einheit der Fläche, so sind

$$11. \quad \varkappa\sigma\left[1-(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}\right] \text{ Pfund Kraft}$$

nöthig, um den Kolben zu heben. Bezeichnet h die Höhe des Kolbenhubes, v die Geschwindigkeit des Kolbens oder den Raum, welchen er in 1 Sec. durchläuft, und τ die Zahl der Secunden, welche auf einen Kolbenschlag vergehen, so dafs $v = \frac{h}{\tau}$ ist, so giebt die Kraft (11.), mit v multiplicirt, das *Moment* dieser Kraft für *1 Secunde,* und noch mit τ, also im Ganzen mit $v\tau = h$ multiplicirt, das Moment für *einen Kolbenschlag.* Es ist also, da $h\varkappa = k$ ist,

$$12. \quad h\varkappa\sigma\left[1-(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}\right] = k\sigma\left[1-(1-\lambda)\left(\frac{p-k}{p}\right)^{n-1}\right]$$

das *Moment der Kraft für einen Kolbenschlag.* Dieses Moment bleibt dasselbe, wenn auch die Kolbenschläge *nicht* gleich geschwind geschehen, denn es ist die Kraft (11.) immer *mit h* zu multipliciren, was auch τ und v sein mögen.

Das *gesammte* Moment für die n Kolbenschläge, welches durch M_1 bezeichnet werden mag, ist die *Summe der Reihe,* welche sich ergiebt, wenn man in (12.) $n = 1, 2, 3 \ldots . n$ setzt. Diese Summe ist

$$M_1 = k\sigma\left[n-(1-\lambda)\left(1-\left(\frac{p-k}{p}\right)^n\right):\left(1-\frac{p-k}{p}\right)\right] \quad \text{oder}$$

$$13. \quad M_1 = k\sigma\left[n-(1-\lambda)\frac{p}{k}\left(1-\left(\frac{p-k}{p}\right)^n\right)\right].$$

Hierin aus (6.) $\left(\frac{p-k}{p}\right)^n = \frac{1-\mu}{1-\lambda}$ gesetzt, giebt

$$M_1 = k\sigma\left[n-(1-\lambda)\frac{p}{k}\left(1-\frac{1-\mu}{1-\lambda}\right)\right] = k\sigma\left[n-(1-\lambda)\frac{p}{k}\left(\frac{\mu-\lambda}{1-\lambda}\right)\right], \text{ oder}$$

$$14. \quad M_1 = \sigma[kn - p(\mu-\lambda)].$$

Dieses ist das Moment der nöthigen Kraft, um in der Triebröhre die Luft durch *Ausschöpfen* von der Spannung $1-\lambda$ auf die Spannung $1-\mu$ zu bringen, in Fufsen und Pfunden. Da n in (7.) durch p, k, μ und λ bestimmt wird, so wird auch M_1 in (14.) durch p, k, μ, λ und σ, also durch die Gröfse p der Triebröhre, durch den Raum-Inhalt k eines Kolbenhubes der Luftpumpe, welcher gegeben sein wird, und durch die verlangten Spannungen λ und μ der Luft in der Triebröhre allein bestimmt.

Der Druck der atmosphärischen Luft σ auf eine Fläche ist dem einer Wassersäule von etwa 30 F. hoch, also für 1 Quadratfufs dem Gewicht von 30 Cub. F. Wasser zu 66 Pfd. gleich, mithin ist

$$15. \quad \sigma = 30.66 = 1980 \text{ Pfd.} = 18.110 \text{ Pfd.} = 18 \text{ Ctr.}$$

Will man das Moment M_1 mit *Pferdekräften* vergleichen, also entweder wissen, wieviel *Pferdekräfte* nöthig sind, um das Ausschöpfen in einer bestimmten Zeit von τ Secunden zu verrichten, oder in welcher Zeit τ eine Maschine von m_1 Pferdekräften das Ausschöpfen vollendet, so mufs man das Moment dieser m_1 Pferdekräfte *für eine Secunde* mit der Zahl τ der Secunden, welche die Ausschöpfung währt, multipliciren. Das Moment einer Pferdekraft *für eine Secunde*, welches durch φ bezeichnet werden mag, beträgt, in Fufsen und Pfunden wie M_1 ausgedrückt,

$$16. \quad \varphi = 120.3\tfrac{1}{3} = 400;$$

denn ein Pferd vermag 120 Pfund in einer Secunde $3\frac{1}{3}$ F. hoch zu heben. Man erhält also die Gleichung

$$17. \quad M_1 = m_1\varphi\tau = \sigma[kn - p(\mu-\lambda)],$$

und daraus ergiebt sich

$$18. \quad m_1 = \frac{\sigma}{\varphi\tau}[kn - p(\mu-\lambda)]$$

für die Zahl m_1 der nöthigen Pferdekräfte, um in der Triebröhre vom Inhalt p C. F. durch einen Luftpumpenstiefel von k C. F. in τ Secunden die Luft von der Spannung $1-\lambda$ auf die Spannung $1-\mu$ zu bringen; so wie

$$19. \quad \tau = \frac{\sigma}{m_1\varphi}[kn - p(\mu-\lambda)],$$

für die Zahl τ der Secunden, in welchen dies durch eine Maschine von m_1 Pferdekräften geschieht. Die Zahl n der Kolbenschläge wird für beide Ausdrücke (18. und 19.) nach (7.) durch p, k, λ und μ bestimmt.

Für den gegenwärtigen Fall, wo beim Anfange des Ausschöpfens die Spannung der Luft in der Triebröhre nicht $1-\lambda$ sondern 1 ist, ist $\lambda = 0$, also

$$20. \quad m_1 = \frac{\sigma}{\varphi\tau}[kn - p\mu] \quad \text{und}$$

$$21. \quad \tau = \frac{\sigma}{\varphi m_1}[kn - p\mu].$$

Da bei diesen Rechnungen nur das *Gleichgewicht* zwischen Last und Kraft in Anschlag gebracht ist, so mufs man noch einen verhältnifsmäfsigen Theil für die *Reibung* der Maschinentheile, für dio Erzeugung der Geschwindigkeit etc. hinzusetzen, wofür wir 10 pr. C. annehmen wollen.

In dem oben zum Beispiel angenommenen Fall der Dubliner Triebröhre war $p = 8820$, $k = 123$, $\mu = \frac{1}{2}$. Dieses giebt vermöge (7.), oder vielmehr (9.),

$$22. \quad n = \frac{-\log\frac{1}{2}}{\log 8820 - \log 8697} = 50.$$

Soll nun die Luft aus der Triebröhre z. B. in 2 Minuten bis auf die Spannung $\mu = \frac{1}{2}$ ausgeschöpft werden, so ist $\tau = 2.60 = 120$ und es sind dazu nach (20.)

$$23. \quad m_1 = \frac{1980}{400.120}[123.50 - 8820.\tfrac{1}{2}] = 72 \text{ Pferdekräfte}$$

und, 10 pr. C. mehr gerechnet, etwa 80 Pferdekräfte auf 2 Minuten lang nöthig. Eine Maschine von $m_1 = 100$, also etwa 91 *wirksamen* Pferdekräften, schöpft nach (21.) die Luft in

$$24. \quad \tau = \frac{1980}{400.90}[123.50 - 8820.\tfrac{1}{2}] = 95 \text{ Secunden}$$

aus.

D. Während der Fahrt des Wagenzuges, wo noch die in der Triebröhre übrigen $(1-\mu)p$ Cub. F. atmosphärische Luft auszuschöpfen sind, ist der Druck der Luft auf den Luftpumpenkolben von innen *immer* $(1-\mu)\varkappa\sigma$, von aufsen $1.\varkappa\sigma$: also sind

$$25. \quad \varkappa\sigma(1-(1-\mu)) = \varkappa\sigma\mu \text{ Pfund}$$

Kraft nöthig, um den Kolben zu heben. Das *Moment* der Kraft für einen Kolbenschlag ist daher, ähnlich wie in (*C.*),

$$26. \quad = k\sigma\mu$$

und das *gesammte Moment* für n_1 Kolbenschläge (II.), welches durch M_2 bezeichnet werden mag, ist, weil es hier für jeden Kolbenschlag *gleich grofs* ist,

$$27. \quad M_2 = n_1 k\sigma\mu$$

und darin den Werth von $n_1 = \frac{p}{k}$ aus (10.) gesetzt,

$$28. \quad M_2 = \sigma \mu p;$$

so dafs hier das Moment von der Gröfse des Kolbens *nicht* abhängt.

Setzt man, es sollen zu diesem Ausschöpfen m_2 Pferdekräfte t Secunden lang angewendet werden, so mufs

$$29. \quad m_2 t \varphi = \sigma \mu p$$

sein, und daraus folgt

$$30. \quad m_2 = \frac{\sigma \mu p}{t \varphi} \quad \text{und}$$

$$31. \quad t = \frac{\sigma \mu p}{m_2 \varphi}.$$

Setzt man, für das obige Beispiel der Dubliner Eisenbahn, die Länge der Röhre von 2490 Yards = 7254 F. Pr. solle mit der Geschwindigkeit von 4 Meilen in der Stunde, also $26\frac{2}{3}$ F. in der Secunde durchlaufen werden, so ist $t = \frac{7254}{26\frac{2}{3}} = 272$, folglich nach (30.)

$$32. \quad m_2 = \frac{1980.\frac{1}{2}.8820}{272.400} = 80.$$

Mithin mufs dann die Maschine 80 und mit 10 pr. C. Zusatz 88 Pferdekräfte haben. Für die vorhandene Maschine von 100 Pferden Kraft giebt (31.)

$$33. \quad t = \frac{1980.\frac{1}{2}.8820}{90.400} = 252.$$

Dies giebt eine Geschwindigkeit von $\frac{7254}{252} = 29$ F. in der Secunde oder etwa $4\frac{1}{2}$ Meilen in der Stunde. Eine gröfsere Geschwindigkeit vermag die vorhandene Maschine von 100 Pferdekräften *mit der Triebkraft* $\mu = \frac{1}{2}$ nicht hervorzubringen. Also ist die vorhandene Maschine *für* $\mu = \frac{1}{2}$ *gar nicht zu stark.* Sie kann allerdings noch eine gröfsere Geschwindigkeit hervorbringen: denn für das Ausschöpfen der Luft *vor* dem Anfange der Fahrt ist sie, wie sich aus (*C.*) zeigt, zu stark. Nur mufs für eine gröfsere Geschwindigkeit die Triebkraft μ kleiner sein. Soll z. B. die Geschwindigkeit 6 Meilen in der Stunde betragen, so kann in (33.) μ nur $= \frac{1}{2}.\frac{4}{6} = \frac{4}{12}$ sein.

b. Zweiter Fall des Einpumpens der Luft in die Triebröhre.

17.

A. Vor dem Anfange der Fahrt findet hier kein Pumpen Statt, sondern *nur während* der Fahrt. Soll eine Triebkraft μ hervorgebracht werden, so

müssen *während* der Fahrt $(1+\mu)p$ C. F. atmosphärische Luft in die Röhre eingepumpt werden und es sind also, da jeder Kolbenschlag k C. F. solcher Luft zuführt,

$$34. \quad n = (1+\mu)\frac{p}{k}$$

Kolbenschläge nöthig.

B. Die Luft drückt hier von innen mit der Spannung $1+\mu$ und von aufsen mit der Spannung 1 auf den Kolben der Luftpumpe, und zwar immer *gleich* stark: also sind

$$35. \quad \varkappa\sigma(1+\mu-1) = \varkappa\mu\sigma \text{ Pfund}$$

Kraft nöthig, um den Kolben niederzudrücken: dieselbe Kraft wie beim *Auspumpen* während der Fahrt (25. §. 16. *D.*).

Also ist auch, eben wie dort, das Moment, welches hier durch N bezeichnet werden mag,

$$36. \quad N = nk\sigma\mu.$$

Darin den Werth von n aus (34.) gesetzt, giebt

$$37. \quad N = \sigma\mu(1+\mu)p,$$

und nun, ähnlich wie in (29.),

$$38. \quad m_2 t\varphi = \sigma\mu(1+\mu)p;$$

woraus

$$39. \quad m_2 = \frac{\sigma\mu(1+\mu)p}{t\varphi}$$

für die Anzahl der Pferdekräfte folgt, die nöthig sind, um die Fahrt in t Secunden zurückzulegen; desgleichen

$$40. \quad t = \frac{\sigma\mu(1+\mu)p}{m_2\varphi}$$

für die Zahl der Secunden, in welchen mit m_2 Pferdekräften die Fahrt geschieht.

In dem obigen Beispiel würden für eine Geschwindigkeit der Fahrt von 4 Meilen in der Secunde, also für $t = 242$ (§. 16. *D.*)

$$41. \quad m_2 = \frac{1980.\frac{1}{2}.1\frac{1}{2}.8820}{272.400} = 120 \text{ Pferdekräfte}$$

und mit 10 pr. C. Zusatz 132 Pferdekräfte nöthig sein; aber nur 272 Secunden lang, während beim *Auspumpen* 88 Pferdekräfte (32.) erst 272 Secunden und dann noch *vor* der Fahrt, wie aus (23.) zu sehen, etwa während 108, also zusammen während 380 Secunden nöthig sind. Eine Maschine von $m_2 = 100$ Pferdekräften giebt hier

$$42. \quad t = \frac{1989.\frac{1}{2}.1\frac{1}{2}.8820}{90.400} = 363,$$

also nur eine Geschwindigkeit von 20 Fufs oder 3 Meilen in der Stunde. Die 100 Pferdekräfte sind beim *Einpumpen* während 363 Secunden, beim *Auspumpen* während 252 + 95 = 347 Sec. (33. und 24.) nöthig. Also ist das *Auspumpen* hier in diesem Fall und für $\mu = \frac{1}{2}$ um etwas *vortheilhafter*, als das *Einpumpen*.

V. *Nachtheile der Art, die Luft unmittelbar entweder aus der Triebröhre auszupumpen, oder sie in dieselbe hineinzutreiben.*

18.

A. Wird die Luft, so weit es zur Triebkraft nöthig ist, durch die Luftpumpe *unmittelbar* aus der Triebröhre *ausgepumpt*, so mufs die Verdünnung schon *vor* der Fahrt, und zwar *so schnell* als möglich geschehen, damit so wenig als möglich Luft durch die nie ganz dichte Längsklappe wieder in die Röhre eindringe; die Zeit zum Auspumpen des Rests der Luft *während* der Fahrt hängt von der *Dauer* der Fahrt ab und mufs also ebenfalls *sehr schnell* geschehen.

Wird die Luft unmittelbar in die Triebröhre *eingepumpt*, so mufs es ebenfalls *während* der Fahrt, also wiederum sehr schnell geschehen.

Je *schneller* aber das Auspumpen oder Einpumpen geschehen mufs, um so *stärker* müssen die dazu bestimmten Maschinen sein; und da nun diese Maschinen in der Zeit *zwischen* den Fahrten *still stehen*, so müssen sie offenbar viel stärker sein, als *eigentlich* nöthig ist. Dazu kommt, dafs die stete Unterbrechung des Ganges den Maschinen nachtheilig und die Feuerung zum immer neuen Wieder-Anheizen, so wie die nach der Fahrt übrig bleibende Hitze reiner Verlust ist. Ist statt Dampf Wasserkraft benutzbar, so ist der Verlust, wenn die Wassermaschinen nicht etwa aus einem Behälter, sondern aus einem Flusse ihre Kraft schöpfen, noch gröfser; und die Kraft des Windes läfst sich auf solche Weise fast gar nicht benutzen. Man könnte zwar die Maschinen, um sie in *unterbrochenem* Gange zu erhalten, in den Zeiten *zwischen* den Fahrten zu andern Zwecken, z. B. zum Getraidemahlen u. s. w. benutzen wollen; aber dies wird doch nicht *überall* angehen; und auch dabei sind Unterbrechungen wieder nachtheilig, und man sieht sich zu Neben-Gewerben *gezwungen*, die nicht zu den Eisenbahnen gehören; was denn für die Verwaltung lästig und schwierig ist.

B. Aber das *unmittelbare* Aus- oder Einpumpen hat auch noch einen andern, viel gröfsern Übelstand. Versagt nemlich einmal die Maschine gerade *während* der Fahrt den Dienst, so bleibt der Wagenzug auf der Bahn stehen, und man mufs geradezu *Pferde* abschicken, um ihn weiter zu schaffen. Zwar läfst sich dem vorbeugen, wenn man *zwei* Maschinen, jede von der halben, statt der einen von der vollen Kraft baut: allein wenn der an der einen Maschine entstandene Schaden nicht schnell verbessert werden kann, so entsteht dennoch eine längere Stockung, die auf die ganze Linie der Bahn Einflufs hat, indem die *halbe* Kraft auf längere Zeit, auch nur für zwei Fahrten, das Nöthige nicht leisten kann. Und dann kosten auch wieder zwei Maschinen, jede von der halben Kraft, *mehr* zu bauen und in Bewegung zu setzen, als eine einzelne Maschine mit der vollen Kraft.

Es ist daher jedenfalls eine unvollkommene und mehr als eigentlich nöthig kostende Anordnung, wenn man die Pumpen die Luft *unmittelbar* aus der Triebröhre heraus- oder in dieselbe hineintreiben läfst; in grofser Eil, so viel davon eben zu jeder Fahrt nöthig ist, und es ist ganz wesentlich eine andere Einrichtung *nothwendig*, von der Art, dafs die Maschinen *ununterbrochen* arbeiten und wenigstens einigen *Vorrath* an Kraft schaffen können.

VI. Behälter.

19.

Diese Einrichtung läfst sich machen, wenn man die Luft, statt sie *unmittelbar* aus der Triebröhre heraus- oder in sie hinein-, vielmehr erst aus hinreichend grofsen *Behältern* heraus- oder in diese hineinpumpt und dann vermittels der verdünnten oder verdichteten Luft in den Behältern die nöthige Verdünnung oder Verdichtung der Luft in der Triebröhre durch das Öffnen eines Hahns in einer Röhre, die den Behälter mit der Triebröhre in Verbindung setzt, hervorbringt. Diese Einrichtung würde mehr als einen entschiedenen Vorzug vor dem *unmittelbaren* Aus- und Einpumpen haben.

Erstlich nemlich haben alsdann die Maschinen, welche die Luftpumpe in Bewegung setzen, nicht blofs *während* der Fahrten der Wagenzüge und, beim Auspumpen, noch unmittelbar vor dem Anfange einer jeden Fahrt zu arbeiten, sondern sie können *ununterbrochen* in Gang bleiben, und sind also viel *weniger stark* nöthig. Wegen der Ununterbrochenheit der Feuerung, wenn es Dampfmaschinen sind, werden sie weniger Brennstoff verzehren. Auch

ist alsdann ***Wasserkraft***, wo sie vorhanden ist, und selbst, *hülfsweise*, die Kraft des *Windes* benutzbar.

Zweitens werden beim Auspumpen nicht erst vor jeder Fahrt mehrere Minuten nöthig sein, um die Luft in der Triebröhre, so weit, als es zur Abfahrt nothwendig ist, auszupumpen, sondern, so wie man den Hahn in der Röhre nach den Behältern hin öffnet, wird die Luft aus der Triebröhre viel schneller in die Behälter strömen.

Drittens wird sich durch den Hahn in der Verbindungsröhre die Spannung, und folglich die Triebkraft der Luft in der Triebröhre, viel leichter und sicherer *regeln* lassen, als durch das Pumpen.

Viertens wird sich auch durch die Behälter, ohne alle mehrere vorherige Anstrengung der Maschinen eine *stärkere* als die *mittlere* Kraft des Triebkolbens hervorbringen lassen; was besonders beim Anfange der Bewegung des Wagenzuges nützlich sein kann und was, wenn keine Behälter vorhanden sind, ohne mehreren Aufwand von Maschinenkraft nicht möglich ist. Dieser vierte Vortheil wird weiter unten in §. 26. näher nachgewiesen werden.

Es fragt sich indessen, ob die Behälter nicht etwa so sehr viel *kosten* werden, dafs dadurch der Gewinn an den *Geld-Ausgaben* wieder verloren geht, oder gar noch gröfsere Kosten entstehen. Die oben gedachten Vorzüge der Behälter würden zwar immer bleiben: aber man wird wissen wollen, wie theuer sie erkauft werden. Um dies zu untersuchen, werden wir erst sagen müssen, auf welche Weise die Behälter zu bauen sein dürften, also ihre Ausführbarkeit nachzuweisen haben; und dann, wie es sich vergleichsweise mit den Maschinen verhält, wenn die Behälter vorhanden sind.

VII. Bauart der Behälter.

a. Erster Fall des Ausschöpfens der Luft aus der Triebröhre.

20.

In diesem *ersten* Fall müssen Behälter vorhanden sein, in welchen die Luft ebenfalls *verdünnt* wird, und zwar *stärker*, als es in der Triebröhre geschehen soll: denn wenn der Hahn der Verbindungsröhre geöffnet wird und dadurch Behälter und Triebröhre zu einem zusammenhängenden Raume werden, darf in diesem *ganzen* Raume die Luft nicht allein nicht dichter geworden sein, als sie es in der Triebröhre sein soll, sondern auch die übrige Luft, die aus der Triebröhre noch *während* der Fahrt auszuschöpfen ist, mufs die Luft

in dem Behälter noch auf keine höhere Spannung als $1-\mu$ bringen. Sollen die Behälter für *mehr als eine* Fahrt Dienste leisten können, ohne erst von Neuem ausgeschöpft zu werden, nemlich zur Vorsorge für den Fall, wenn die Maschine schadhaft wird, so mufs entweder die Luft aus denselben *noch weiter* ausgeschöpft werden, oder die Behälter müssen *gröfser* sein.

Gesetzt die Behälter sollen für ε Fahrten ohne neues Ausschöpfen die Luft aus der Triebröhre *aufnehmen* können, so müssen εp C. F. Luft darin Raum finden, ohne dafs die verdünnte Luft in den Behältern durch deren Hinzukommen eine stärkere Spannung als die bekomme, welche die Luft in der Triebröhre haben soll, nemlich $1-\mu$. Für jede Fahrt nemlich sind dem Obigen zufolge erst *vor* dem Anfange der Fahrt μp Cub. F. atmosphärische Luft aus der Triebröhre zu schöpfen, um dem Kolben die Triebkraft μ zu geben, und dann *während* der Fahrt noch die übrigen $(1-\mu)p$ C. F., zusammen p C. F. für *eine* Fahrt und folglich εp C. F. für ε *Fahrten.* Bezeichnet man nun den Raum-Inhalt der Behälter durch b und setzt, dafs aus denselben νb Cub. F. atmosphärische Luft ausgeschöpft worden sind, so dafs noch $(1-\nu)b$ C. F. darin zurückblieben, so mufs, wenn zu diesen $(1-\nu)b)$ C. F. die εp Cub. F. Luft aus der Triebröhre hinzukommen, die alsdann im Behälter vorhandene Luft erst die Spannung oder die Dichtigkeit $1-\mu$ haben, nemlich diejenige, welche die Luft in der Triebröhre haben soll. Es müssen also dann erst $(1-\mu)b$ C. F. atmosphärische Luft in den Behältern befindlich sein: also mufs sein

$$43.\quad (1-\nu)b+\varepsilon p=(1-\mu)b.$$

Dieses giebt $\varepsilon p=(\nu-\mu)b$ und

$$44.\quad b=\frac{\varepsilon p}{\nu-\mu},$$

und dies ist die Zahl der Cubikfufse, welche die Behälter an Raum enthalten müssen.

Setzt man z. B. wie oben, dafs die Luft in der Triebröhre die Spannung $1-\mu=\frac{1}{2}$ haben solle, also $\mu=\frac{1}{2}$, und nimmt an, dafs sich die Luft aus den Behältern füglich bis zu der Spannung $1-\nu=\frac{1}{6}$ ausschöpfen lasse, so dafs $\nu=\frac{5}{6}$ ist, so giebt (44.)

$$45.\quad b=\frac{\varepsilon p}{\frac{5}{6}-\frac{1}{2}}=3\varepsilon p.$$

Für $\varepsilon=1$ Fahrt müssen also die Behälter 3mal, für $\varepsilon=2$ Fahrten 6mal so viel Raum als die Triebröhre fassen u. s. w.

Wir könnten nun wieder die Dubliner Eisenbahn, um Vergleiche anzustellen, zum Beispiele nehmen: allein da dieselbe, ihrer geringen Länge wegen, gegen die Einrichtung *mit Behältern* gar zu sehr in Nachtheil kommen würde, so stellen wir lieber den Vergleich für einen Fall an, wie er auf *längern* Eisenbahnlinien vorkommen dürfte.

Wir setzen also eine Triebröhre von *einer Meile* oder 24 000 F. lang und wie oben in (§. 7.) von 14 Zoll im Durchmesser. Eine solche Röhre enthält 25 666⅔ C. F. Dazu rechnen wir noch für den Verlust durch die Längsklappe, der hier geringer ist, weil er nur *während* der Fahrt Statt findet, nicht auch *vor* der Fahrt, 1000 C. F., giebt

$$46.\quad p = 26\,666\tfrac{2}{3},$$

also in (45.)

$$47.\quad \begin{cases} b = 80\,000 \text{ für 1 Fahrt,} \\ b = 160\,000 \text{ für 2 Fahrten u. s. w.} \end{cases}$$

Es wird hinreichen, wenn die Behälter für *zwei* Fahrten ohne neues Auspumpen Dienste leisten; also müssen sie 160 000 C. F. grofs sein. *Zwei* Behälter, jeder von der Hälfte dieser Gröfse, werden besser sein, als *ein einzelner* mit dem ganzen nöthigen Raum: folglich sind *zwei* Behälter, jeder von 80 000 C. F. grofs nöthig.

Ein solcher Behälter kann aus *gewöhnlichem Ziegelmauerwerk* sein, wo nicht etwa feste Felsen vorhanden sind, in welchen sich der nöthige Raum aushöhlen läfst. Ziegelmauerwerk, von der Dicke, die es schon der Haltbarkeit wegen bekommen mufs, ist ohne Zweifel *vollkommen luftdicht*. Man kann den Behältern die in Fig. 11. und 12. vorgestellte Form geben und sie halb in, halb über der Erde bauen. Die Spannung des Gewölbes für die obige Gröfse des Behälters kann 30 F. sein, seine Dicke 3 F. Dann mufs der gerade Theil 86 F. lang sein und die Mauern und Gewölbe enthalten 40 565 C F. Mauerwerk. Der Cub. F. Mauerwerk kostet z. B. in Berlin etwa 5 Sgr. Rechnet man, wegen der noch übrigen Kosten, des Ausgrabens der Erde, des Bewurfs mit Kalk u. s. w. 6 Sgr., so kostet ein Behälter etwa 8000 Thlr. Die nöthigen zwei Behälter erfordern also eine Ausgabe von etwa 16 000 Thlr.

b. Zweiter Fall des Zusammenpressens der Luft in der Triebröhre.

21.

In diesem *zweiten* Fall, wenn der Kolben in der Triebröhre durch *zusammengedrückte* Luft von der Spannung μ fortgetrieben werden soll, müs-

sen zu einer Fahrt *während* derselben $(1+\mu)p$ Cub. F. atmosphärische Luft in die Triebröhre hineingetrieben werden (§. 17.), also zu ε Fahrten $(1+\mu)\varepsilon p$ C. F. Soll dies durch die Behälter geschehen, nicht unmittelbar durch die Luftpumpe, so mufs die Luft in den Behältern *stärker* zusammengeprefst werden, als bis auf die Spannung $1+\mu$, und zwar so stark, dafs, nachdem die $(1+\mu)\varepsilon p$ Cub. F. Luft zu ε Fahrten herausgelassen sind, die Luft in den Behältern noch dieselbe Spannung $1+\mu$ hat, die ihr in der Triebröhre nöthig ist. Setzt man also, dafs νb C. F. Luft in die Behälter zu den b C. F. Luft, welche sie schon enthalten, hineingetrieben worden sind, so dafs sich $(1+\nu)b$ C. F. atmosphärische Luft darin befinden, so mufs

$$48.\quad (1+\nu)b-(1+\mu)\varepsilon p=(1+\mu)b$$

sein, woraus $b(\nu-\mu)=(1+\mu)\varepsilon p$ und

$$49.\quad b=\frac{1+\mu}{\nu-\mu}.\varepsilon p$$

folgt, welches den Raum-Inhalt der Behälter giebt, wenn sie Luftkraft für ε Fahrten enthalten sollen.

Zu Behältern *zusammengeprefster* Luft, selbst mit nur ganz geringer Spannung, z. B. $\frac{1}{2}$ Atmosphäre, ist Mauerwerk durchaus nicht dienlich. So trefflich ein Gewölbe auch dem Luftdruck *von aufsen* widerstehen wird, so wenig widersteht es einem Drucke von *innen*. Schon eine halbe Atmosphäre Spannung giebt, gemäfs (15.), einen Druck von 990 Pfd. oder 9 Ctr. auf den Quadratfufs. Ein Gewölbe müfste also schon an 9 F. dick sein, um durch die Spannung von innen nach aufsen nicht *aufgehoben* und gesprengt zu werden. Nur wenn *feste Felsen* vorhanden sind, würden sich die hier für die *zusammengeprefste* Luft nöthigen Behälter darin aushöhlen lassen. Im andern Fall wird zu diesen Behältern nur *Eisen* taugen.

Der Behälterraum b ist, wie aus (49.) zu sehen, um so kleiner, je gröfser ν ist, oder je stärker man die Luft zusammenprefst. *Nothwendig* ist es streng genommen nur, dafs $\nu>\mu$ sei, und es ist offenbar, dafs jedes stärkere Zusammenpressen der Luft eine *verloren gehende* Kraft erfordert, indem die stärker zusammengeprefste Luft sich hernach in der Triebröhre *wieder ausdehnt*. Wenn man also die Luft in den Behältern stärker zusammenprefst als *nothwendig*, so kann es nur allein deshalb geschehen, um mit einem *geringeren Behälterraum* auszukommen. Der Verlust an Kraft wegen des stärkern Zusammenpressens bringt wieder Gewinn an den Kosten des Behälterraums und es kommt also hier auf das richtige *Maafs* an. Es ist jedoch bei dem

Vergleiche sofort zu bedenken, dafs der Verlust an Kraft ein *immerwährender* Verlust ist, von welchem, als Zinsen betrachtet, das Capital sich *nicht amortisiren* läfst, wie es mit den Mehrkosten der Behälter geschehen kann. Es wird daher schon deshalb gut sein, die Spannung ν der Luft in den Behältern *so gering* anzunehmen, als möglich; bis zu dem Maafs, welches die Gröfse der Behälter und ihre Construction irgend gestatten.

Da also die Behälter *möglichst grofs* sein sollen, so wird sich *gewalztes Eisenblech* besser dazu eignen, als *gegossenes Eisen;* und dann werden offenbar mehrere Behälter von mäfsiger Gröfse, mit einander an den Enden durch Röhren verbunden, besser sein, als ein einzelner Behälter, der unförmlich grofs sein müfste; sowohl der leichtern Verfertigung wegen, als wegen des etwaigen Zerspringens. Wir setzen, die einzelnen Behälter sollen *cylinderförmig* sein, mit halbkugelförmigen Enden, und es solle Blech von *1 Linie dick* dazu genommen werden. Dann haben die zusammen 2 Linien dicken Wände des Cylinders auf 1 F. lang 2 Q. Z. Fläche, und da die Cohäsion des gewalzten Eisens zu 70 000 Pfd. auf den Quadratzoll anzunehmen ist, so haben die Cylinderwände eine Festigkeit von $2.70000 = 140000$ Pfd. auf 1 F. Länge. Aber die Festigkeit der Wände mufs wenigstens 3mal so stark sein, als die Kraft, welche sie zu zersprengen strebt; also darf diese Kraft nur $\frac{140000}{3} = 46\,666\frac{2}{3}$ Pfd. betragen. Die Kraft der Spannung einer Flüssigkeit in einem Cylinder wirkt bekanntlich auf das Zersprengen seiner Wände mit demselben Druck, welchen sie auf eine rechteckige Ebene ausüben würde, deren Länge die Axe des Cylinders und deren Breite der Durchmesser desselben ist. Bezeichnet man also den Durchmesser des Cylinders durch δ, die Spannung der atmosphärischen Luft wie oben durch σ, so ist der Druck von ν Atmosphären Spannung auf 1 F. Länge $= \nu\sigma\delta$. Nehmen wir nun an, dafs die Cylinder *6 Fufs* im Durchmesser haben sollen, so beträgt der Druck $\nu . 1980 . 6(15) = 11\,880 . \nu$ und es mufs also $11\,880\nu = 46\,666\frac{2}{3}$ sein, woraus $\nu = 3{,}93$ folgt; so dafs also 1 Linie dicke Wände eines Cylinders von 6 F. im Durchmesser eine Spannung von beinahe 4 Atmosphären *Überschufs* über den Gegendruck der äufsern Luft aushalten und also hier für jeden Fall hinreichend stark sind. Setzt man die Länge des Cylinders, mit Einschlufs der Halbkugeln an den Enden, $= l$, so ist

50. $$\begin{cases} 1. \quad \frac{1}{4}\pi\delta^2(l-\delta) + \frac{1}{6}\pi\delta^3 = \frac{\pi\delta^2}{12}(3l-\delta) = \frac{\pi\delta^2}{42}(3l-\delta) \text{ sein Raum-Inhalt und} \\ 2. \quad \pi\delta(l-\delta) + \pi\delta^2 = \pi\delta l = \frac{22}{7}\delta l \text{ seine Oberfläche.} \end{cases}$$

Nimmt man den Cylinder $l = 20$ F. lang an, so beträgt nach (50. 1.) sein Inhalt 509 C. F. und seine Oberfläche 377 Q. F. Für den Q. F. Eisenblech von 1 Linie dick ist, mit den Nieten, etwa 4 Pfd. zu rechnen, welche mit dem Arbeitslohn, etwa zu 7½ Sgr., 1 Thlr. kosten. Also kostet ein Cylinder von 509 C. F. Inhalt 377 Thlr., wofür wir wegen der Verbindungsröhren 400 Thlr. annehmen. Die Zahl der nöthigen Cylinder findet sich, wenn man b (49.) für die verschiedenen ν durch 509 dividirt.

Dieses giebt, $\mu = \frac{1}{2}$, $s = 2$ gesetzt, für das obige Beispiel von $p = 26\,666\frac{2}{3}$ (46.) Folgendes:

		Werth von b.	Zahl der Cylinder.	Kosten derselben.
51.	Für $\nu = 2$	53 333⅓ C. F.	105	42 000 Thlr.
	- $\nu = 2\frac{1}{2}$	40 000 - -	79	31 600 -
	- $\nu = 3$	32 000 - -	63	25 200 -
	- $\nu = 3\frac{1}{2}$	26 666⅔ - -	53	21 200 -

Die Kraft und die Kosten der nöthigen Maschinen nehmen zu, so wie die Zahl der Cylinder und ihre Kosten abnehmen. Aus der Berechnung der Kraft der nöthigen Maschinen wird sich ergeben, welches ν das vortheilhafteste sei.

VIII. Maschinen und Luftpumpen für die Behälter.

α. Erster Fall, der Verdünnung der Luft in der Triebröhre und in den Behältern.

22.

A. Gemäfs (§. 16. *C.* 14.) ist das Moment der Kraft, um die Luft in einem Raume p (hier in (§. 20.) in dem Behälterraum b) durch n Kolbenschläge der Luftpumpe, jeden k C. F. grofs, von der Spannung $1-\lambda$ (hier $1-\mu$) auf die Spannung $1-\mu$ (hier $1-\nu$) zu bringen:

$$52.\quad M_1 = \sigma[kn - b(\nu - \mu)],$$

und nach (6. und 7.) ist

$$53.\quad k = \left(1 - \sqrt[n]{\left(\frac{1-\nu}{1-\mu}\right)}\right) b \quad \text{und}$$

$$54.\quad k = \frac{\log(1-\mu) - \log(1-\nu)}{\log b - \log(b-k)}.$$

Aus (53.) ist zu sehen, dafs k um so kleiner ist, je gröfser n ist, also dafs der Luftpumpenstiefel k um so kleiner sein kann, je mehr Schläge man ihn während der Zeit des Ausschöpfens machen läfst. Innerhalb gewisser Grenzen, welche die technische Ausführbarkeit bestimmt, sind k und n *willkürlich.*

Es fragt sich also, welches k, mit dem zugehörigen n, das *möglich-kleinste* Kraftmoment M_1 gebe.

B. In dem Ausdruck von M_1 (52.) hangt nur das erste Glied kn von k und n, und in dem Ausdruck von n (54.) nur der Nenner des Bruchs von k ab. Es fragt sich also nur, für welches k in kn zufolge (54.)

$$55.\quad \frac{k}{\log b - \log(b-k)} = \text{Min.}$$

sei. Die erste Differentiation von (55.), um das Minimum zu finden, giebt

$$56.\quad \frac{1}{\log b - \log(b-k)} - \frac{k}{(\log b - \log(b-k))^2} \cdot \frac{1}{b-k} = 0,$$

und hieraus folgt

$$57.\quad \log b - \log(b-k) = \frac{k}{b-k} = \log \frac{b}{b-k};$$

woraus k gesucht werden mufs. Setzt man $\frac{k}{b-k} = x$, so ist $\frac{b}{b-k} = \frac{b+k-k}{b-k}$ $= 1 + \frac{k}{b-k} = 1 + x$; also ist (57.) so viel als

$$58.\quad \log(1+x) = x.$$

Dieser Gleichung thut nur der Werth 0 von x, also von k, ein Genüge. Es ist aber die Frage, ob dieser Werth von k ein *Minimum*, oder ein *Maximum* gebe. Differentiirt man, um dies zu finden, von Neuem (56.), so erhält man

$$\frac{-1}{(\log b - \log(b-k))^2} \cdot \frac{1}{b-k} - \frac{1}{(\log b - \log(b-k))^2} \cdot \frac{1}{b-k}$$
$$- \frac{k}{(\log b - \log(b-k))^2} \cdot \frac{1}{(b-k)^2} + \frac{2k}{(\log b - \log(b-k))^3} \cdot \frac{1}{(b-k)^2}$$
$$= \frac{-2(b-k)-k}{(\log b - \log(b-k))^2} \cdot \frac{1}{(b-k)^2} + \frac{2k}{(\log b - \log(b-k))^3} \cdot \frac{1}{(b-k)^2},$$

$$59.\quad = \frac{(k-2b)(\log b - \log(b-k)) + 2k}{(b-k)^2 (\log b - \log(b-k))^3},$$

und hierin den Werth von $\log b - \log(b-k)$ aus (57.) gesetzt, giebt

$$60.\quad \frac{(k-2b)\frac{k}{b-k} + 2k}{(b-k)^2 \frac{k^3}{(b-k)^3}} = \frac{(k-2b)k + 2k(b-k)}{k^3} = \frac{k-2b+2b-2k}{k^2} = -\frac{1}{k}.$$

Das zweite Differential von kn ist also immer *negativ*, und folglich giebt der gefundene Werth 0 von k *nicht* ein *Minimum*, sondern ein *Maximum;* und da es *nur einen* Werth von k für (57.) giebt, so *giebt es kein Minimum*. Es folgt also nur, dafs es um so *unvortheilhafter* ist, je *kleiner* man k macht, mithin um so *vortheilhafter*, je *gröfser* der Luftpumpenstiefel ist.

C. Da die *Zeit* für das Auspumpen der Luft aus dem Behälter bestimmt und am meisten die Schnelligkeit der Bewegung der Luftpumpe technisch bedingt sein wird, so wird man n willkürlich anzunehmen haben, und danach k durch (53.) oder auch durch

$$61.\quad b-k = b\sqrt[n]{\left(\frac{1-\nu}{1-\mu}\right)} \text{ (6.) oder durch}$$

$$62.\quad \log(b-k) = \log b + \frac{1}{n}(\log(1-\nu)-\log(1-\mu))$$

zu bestimmen haben; und zwar wird n so *klein als möglich* anzunehmen sein, damit k *möglichst grofs* werde.

D. Hier ist, ehe man zur Berechnung von k, n und M_1 (52.) für das obige Beispiel schreitet, noch Folgendes zu bemerken. Es sollen nemlich die Behälter Raum für *mehrere* Fahrten, in dem obigen Beispiel für *zwei* Fahrten enthalten, und es sollen dann *zwei* Behälter vorhanden sein. Man kann also entweder, *Erstlich,* die Luft aus der Triebröhre immer in *denselben* Behälter strömen lassen, so dafs der andere als Reserve stets dieselbe Luftspannung behält und folglich auch immer die Luft nur aus *einem* Behälter zu pumpen ist, nemlich in dem obigen Beispiel von der Spannung $1-\mu=\frac{1}{2}$ bis zur Spannung $1-\nu=\frac{1}{6}$ (§. 20.): oder man kann, *Zweitens,* die Luft aus der Triebröhre immer zur Hälfte in den einen, zur Hälfte in den andern Behälter treten lassen, in welchem Fall sie stets aus *beiden* Behältern zu schöpfen ist, aber jetzt von der Spannung $1-\frac{\mu+\nu}{2}=1-\frac{\frac{1}{2}+\frac{5}{6}}{2}=1-\frac{2}{3}=\frac{1}{3}$ bis zur Spannung $1-\nu=\frac{1}{6}$. Beide Fälle sind bei der Rechnung zu berücksichtigen und wir schreiten nun zu dem Beispiel.

E. Es werde angenommen, es sollen auf der Eisenbahn täglich 12 Fahrten gemacht werden, 6 hin und 6 zurück. Dieses ist schon viel, denn auf vielen *längern* Eisenbahnlinien macht man täglich nur 6, und selbst nur 4 Fahrten. Wir nehmen ferner den ungünstigsten Fall an, dafs *nicht* die Nacht hindurch gefahren werden, sondern dafs die Fahrzeit auf allen Puncten der Bahn täglich nur 12 Stunden sein soll. Alsdann mufs der Triebröhre in 12 Stunden 12mal ihre Kraft gegeben und folglich mufs das dazu nöthige Ausschöpfen der Luft im Durchschnitt in *einer Stunde* vollbracht werden. Die Fahrten brauchen hier nicht strenge in *gleichen* Zwischenräumen zu erfolgen, sondern können allenfalls, statt 1 Stunde, bis zu 2 Stunden von einander liegen, weil die Behälter für *zwei* Fahrten ausreichen.

F. Wir setzen nun, dafs die Luftpumpe, ungefähr wie die bei Dublin, in der Minute 20 Kolbenschläge mache. Dann ist

$$63. \quad n = 20.60 = 1200.$$

Für den *ersten* der beiden Fälle (*D.*), wo stets *nur ein* Behälter ausgeschöpft wird, ist für das obige Beispiel (§. 20.): $b = 8000$, $\mu = \frac{1}{2}$, $\nu = \frac{5}{6}$. Dies giebt nach (62.)

$$\log(b-k) = \log 80000 + \frac{\log\frac{1}{6} - \log\frac{1}{2}}{1200} = 4{,}9027091 = \log 79\,930, \text{ also}$$

$$64. \quad k = 70 \text{ C. F.}$$

und in (52.), da $\sigma = 1980$ ist (15.),

$$65. \quad M_1 = 1980[70.1200 - 80000(\tfrac{5}{6} - \tfrac{1}{2})] = 113\,520\,000.$$

Für den *zweiten* Fall in (*D.*), wo die Luft stets aus *beiden* Behältern geschöpft wird, ist $b = 160000$, $\mu = \frac{2}{3}$, $\nu = \frac{5}{6}$, also

$$\log(b-k) = \log 160000 + \frac{\log\frac{1}{6} - \log\frac{1}{3}}{1200} = 5{,}2038692 = \log 159\,917, \text{ folglich}$$

$$66. \quad k = 83$$

und in (52.)

$$67. \quad M_1 = 1980[83.1200 - 160000(\tfrac{5}{6} - \tfrac{2}{3})] = 144\,408\,000.$$

Die erste Art erfordert also ein *geringes* Kraftmoment und einen *kleineren* Pumpenstiefel. Sie ist daher die vortheilhaftere, obgleich die Maschinen bei der *zweiten* Art unter einem weniger abwechselndem Druck arbeiten. Die Ungleichheit des Widerstandes mufs durch die Einrichtung der Maschinen, durch Schwungräder u. s. w. ausgeglichen werden. Wir bleiben also bei der *ersten* Art stehen, nemlich dafs immer *derselbe* Behälter ausgeschöpft werde und der andere unberührt in Reserve bleibe.

G. Die Anzahl der nöthigen Pferdekräfte ist nach (18.)

$$68. \quad m_1 = \frac{M_1}{\varphi\tau}, \quad \text{wo} \quad \varphi = 400 \text{ (16.)}.$$

Die Zahl τ der Secunden, während welcher die Ausschöpfung geschehen mufs, ist hier

$$69. \quad \tau = 60.60 = 3600,$$

also ergiebt sich aus (65. und 68.)

$$70. \quad m_1 = \frac{113520000}{400.3600} = 78.$$

Es ist folglich hier eine Dampfmaschine von $78 + \frac{1}{10}.78 = 86$ Pferdekräften, oder vielmehr es sind zwei Maschinen, jede von 43 Pferdekräften und ein Luftpumpenstiefel von 70 C. F. oder besser zwei, jeder von 35 C. F. Inhalt, nöthig, deren Kolben 20 Schläge in der Minute machen.

b. Zweiter Fall des Zusammenpressens der Luft in der Triebröhre und in den Behältern.

23.

A. Jeder Kolbenschlag der Luftpumpe bringt k C. F. atmosphärische Luft in den Raum b der Behälter. Hat nun beim Anfange des Einpumpens die Luft im Behälter die Spannung $1+\lambda$, so dafs sich $(1+\lambda)b$ Cub. F. atmosphärische Luft darin befinden, und soll die Spannung der Luft durch n Kolbenschläge auf die Spannung $(1+\nu)b$ gebracht werden, so mufs

$$71.\quad (1+\lambda)b+nk=(1+\nu)b$$

sein, woraus

$$72.\quad n=(\nu-\lambda)\frac{b}{k}$$

folgt.

B. Nach dem $x$ten Kolbenschlage befinden sich $(1+\lambda)b+xk$ Cub. F. atmosphärische Luft in dem Behälter und ihre Spannung ist also $\frac{(1+\lambda)b+xk}{b}$ $=1+\lambda+x\frac{k}{b}$. *Vor* dem $x$ten Kolbenschlage ist die Spannung $1+\lambda+(x-1)\frac{k}{b}$: im *Durchschnitt* also $1+\lambda+(x-\frac{1}{2})\frac{k}{b}$. Daher wird die Fläche des Kolbens $\varkappa$ von innen mit der Kraft $\varkappa\sigma\left(1+\lambda+(x-\frac{1}{2})\frac{k}{b}\right)$, von aufsen mit der Kraft $\varkappa\sigma$ gedrückt. Es sind also beim $x$ten Kolbenschlage

$$73.\quad \varkappa\sigma\left(\lambda+(x-\tfrac{1}{2})\frac{k}{b}\right) \text{ Pfunde Kraft}$$

nöthig, um den Kolben niederzudrücken.

Bezeichnet man wie in (§. 16. *C.*) die Höhe des Kolbenhubes durch h, so dafs $h\varkappa=k$ ist, die Geschwindigkeit des Kolbens durch v, die Zeitdauer des Kolbenschlages durch t, so dafs auch $vt=h$ ist, so giebt (73.), mit v multiplicirt, das Kraftmoment *für 1 Secunde* und, mit $vt=h$ multiplicirt, *das Kraftmoment für einen Kolbenschlag*, welches also, wegen $h\varkappa=k$,

$$74.\quad k\sigma\left(\lambda+\frac{(x-\frac{1}{2})k}{b}\right) \quad \text{ist.}$$

Das gesammte Kraftmoment N für die n Kolbenschläge findet sich daher, wenn man in (74.) der Reihe nach $x=1,2,3,\ldots. n$ setzt und die *Summe* dieser verschiedenen Kraftmomente nimmt. Dieses giebt

$$75.\quad N=k\sigma\left(n\lambda+(\tfrac{1}{2}n(n+1)-\tfrac{1}{2}n)\frac{k}{b}\right)=nk\sigma\left(\lambda+\frac{\frac{1}{2}nk}{b}\right).$$

Hierin den Werth von n aus (72.) gesetzt giebt $N=\sigma(\nu-\lambda)b[\lambda+\frac{1}{2}(\nu-\lambda)]$ oder

$$76.\quad N=\tfrac{1}{2}\sigma b(\nu-\lambda)(\nu+\lambda)=\tfrac{1}{2}\sigma b(\nu^2-\lambda^2).$$

C. Hier wäre wieder, wie in (§. 22.), die Frage, ob es besser sei, in dem Falle, wenn wie oben das Doppelte des eigentlich nöthigen Behälterraums vorhanden ist, bei jeder Fahrt die *Hälfte* davon *ganz* bis zur Spannung $1+\mu$, oder den ganzen Behälterraum *halb* bis zur Spannung $1+\frac{1}{2}(\mu+\nu)$ ausströmen zu lassen.

Im ersten Fall ist in (76.) $\lambda=\mu$ und $\frac{1}{2}b$ statt b zu setzen; im zweiten Falle ist $\lambda=\frac{1}{2}(\mu+\nu)$. Also ist

77. $N=\frac{1}{4}\sigma b(\nu-\mu)(\nu+\mu)$ im ersten und

78. $N=\frac{1}{4}\sigma b(\nu+\mu)(\frac{3}{2}\nu+\frac{1}{2}\mu)$ im zweiten Fall.

Es ist aber *immer* $\frac{3}{2}\nu+\frac{1}{2}\mu>\nu+\mu$, denn dies giebt $\nu>-\mu$, was *immer* der Fall ist. Also ist das Erstere, nemlich die Luft für jede Fahrt aus der *Hälfte* des Behälterraums b *ganz* ausströmen zu lassen, das *vortheilhaftere*.

D. Es ist demnach in (76.) $\lambda=\mu$ und $\frac{1}{2}b$ statt b zu setzen, welches

79. $N=\frac{1}{4}\sigma b(\nu-\mu)(\nu+\mu)$

giebt. Setzt man hierin noch den Ausdruck von b (49.), so ergiebt sich

80. $$N=\frac{1}{4}\sigma\frac{1+\mu}{\nu-\mu}\varepsilon p(\nu-\mu)(\nu+\mu)=\frac{1}{4}\sigma(1+\mu)(\nu+\mu)\varepsilon p.$$

Wird wie in (§. 17. *B.*) die Zahl der Secunden durch t und die Zahl der nöthigen Pferdekräfte $\varphi=400$ (16.) durch m_2 bezeichnet, so dafs

81. $m_2 t\varphi=N$

ist, so erhält man

82. $$m_2=\frac{\sigma(1+\mu)(\nu+\mu)\varepsilon p}{4t\varphi}.$$

E. Aus diesem Ausdrucke zeigt sich, was in §. 21. bemerkt wurde, dafs die nöthige Maschinenkraft um so *gröfser* ist, je gröfser man ν annimmt, also je stärker man die Luft in den Behältern zusammenprefst, um den Raum derselben verkleinern zu können; und es mufs sich also hienach entscheiden, welches ν das vortheilhafteste sei.

Setzt man, wie in dem obigen Beispiele, $p=26666\frac{2}{3}$ (46.) $\varepsilon=2$, $\mu=\frac{1}{2}$, $t=3600$ (69.), so giebt (82.), weil $\sigma=1980$ und $\varphi=400$ ist, (15. und 16.),

83. $$m_2=\frac{1980.1\frac{1}{2}.2.26666\frac{2}{3}}{4.3600.400}(\nu+\frac{1}{2})=27\frac{1}{2}(\nu+\frac{1}{2}).$$

Es sind also der Reihe nach mit 10 pr. C. Zusatz für $\nu=2, 2\frac{1}{2}, 3, 3\frac{1}{2}$, Maschinen von $m_2=76$, 91, 106 und 121 Pferdekräfte nöthig. Die Kosten von Dampfmaschinen von dieser Kraft, und zwar je zweier von der halben Kraft, sind der Reihe nach zu 19, 23, 26 und 28 Tausend Thaler anzuschlagen. Also ergiebt sich, zusammen mit (51.), Folgendes

		Behälterraum.	Zahl der Cylinder.	Kosten derselben.	Kosten der Dampfmaschinen.	Summe der Kosten.
84.	Für $\nu=2$	$53333\frac{1}{3}$ C.F.	105	42000 Thlr.	19000 Thlr.	61000 Thlr.
	- $\nu=2\frac{1}{2}$	40000 - -	79	31600 -	23000 -	54600 -
	- $\nu=3$	32000 - -	63	25200 -	26000 -	51200 -
	- $\nu=3\frac{1}{2}$	$26666\frac{2}{3}$ - -	53	21200 -	28000 -	49200 -

Hienach wäre nun zwar für die *Anlagekosten* die *höchste* Spannung von $\nu=3\frac{1}{2}$ Atmosphären, welche die cylindrischen Behälter von 1 Linie dickem Blech zulassen, die vortheilhafteste. Aber die Ersparung von 11800 Thlr. gegen die Spannung $\nu=2$ ist zu gering, als dafs nicht die *immerwährenden* mehreren Kosten der Heizung der stärkern Maschinen die Zinsen der Ersparung von 432 Thlr. jährlich vielfach überwiegen sollten. Es würde demnach am vortheilhaftesten sein, bei der Spannung $\nu=2$ stehen zu bleiben.

F. Die nöthige Gröfse k des Luftpumpenstiefels für $\nu=2$ ist aus (72.) und (84.), wenn man wieder annimmt, dafs die Luftpumpe 20 Schläge in der Minute macht, so dafs $n=1200$ ist (63.),

$$85. \quad k=(\nu-\mu)\frac{\frac{1}{2}b}{n}=\frac{(2-\frac{1}{2}).26666\frac{2}{3}}{1200}=33\frac{1}{3}\text{ C. F.}$$

Es sind also hier zwei Dampfmaschinen, jede von 38 Pferdekräften und ein Luftpumpenstiefel von $33\frac{1}{3}$ C. F. Inhalt nöthig, dessen Kolben 20 Schläge in der Minute macht.

IX. *Vergleichung der Anordnungen ohne Behälter und mit Behältern.*

a. Erster Fall, mit verdünnter Luft in der Triebröhre.

24.

Für das angenommene Beispiel einer 24000 F. langen Triebröhre von 14 Zoll im Durchmesser und mit $\mu=\frac{1}{2}$ Triebkraft enthalten (§. 22. und 23.) die Berechnung der Behälter und der nöthigen Maschinen. Um die Resultate derselben mit dem Fall der *gleichen* Röhre *ohne* Behälter zu vergleichen, sind noch die Resultate für diesen letzten Fall nöthig. Sie sind zwar weiter oben für die Röhre bei Dublin berechnet worden, aber nicht für die jetzt angenommene.

A. Während der Fahrt sind nach (10.)

$$86. \quad n=\frac{p}{k}$$

Kolbenschläge der Luftpumpe nöthig, um die in der Triebröhre *vor* der Fahrt bis auf die Spannung $1-\mu$ verdünnte Luft vollends herauszuziehen.

Gewöhnlich wird man nun zwar nur mit 4 Meilen Geschwindigkeit in der Stunde fahren wollen: aber die Vorrichtungen müssen natürlich von der Art sein, dafs allenfalls auch ein Übriges geschehen kann. Es müssen also 8 Meilen Geschwindigkeit wenigstens *möglich* sein; eben wie bei Dublin. Alsdann mufs der Rest der Luft in $\frac{1}{8}$ Stunde oder $7\frac{1}{2}$ Minuten, und folglich, wenn wieder, wie immer, die Luftpumpe 20 Schläge in der Minute macht, durch 150 Schläge aus der Triebröhre herausgeschafft werden können. Also ist in (86.) $n = 150$ und dies giebt

$$87. \quad k = \frac{p}{n} = \frac{26666\frac{2}{3}}{150} = 178.$$

Der Luftpumpenstiefel mufs also hier 178 C. F. grofs sein. Oder vielmehr, es müssen für die zwei Dampfmaschinen *zwei* Luftpumpenstiefel, jede mit einem Stiefel von 89 C. F. vorhanden sein. Dieses in (9.) gesetzt, giebt

$$88. \quad n = \frac{-\log\frac{1}{2}}{\log 26666\frac{2}{3} - \log 26488\frac{1}{3}} = \frac{0{,}3010300}{4{,}4259742 - 4{,}4230607} = 103;$$

so dafs also die Luftpumpe die Luft aus der Triebröhre *vor* der Fahrt, so weit es nöthig, in $\frac{103}{20}$ oder etwa 5 Minuten herausschafft.

B. Die Zahl der nöthigen Pferdekräfte der Maschine zum Ausschöpfen der Luft *vor* der Fahrt ist nach (28.)

$$89. \quad m_1 = \frac{\sigma}{\varphi\tau}(kn - p\mu).$$

Da dieses Ausschöpfen nach (88.) durch 103 Kolbenschläge geschieht und jeder 3 Secunden braucht, so ist hier $\tau = 3.103 = 309$. Ferner ist $n = 103$ (88.), $k = 178$ (87.), $p = 26666\frac{2}{3}$, $\mu = \frac{1}{2}$, $\mu = \frac{1}{2}$, $\sigma = 1980$ (15.) und $\varphi = 400$ (16.), also giebt (89.)

$$90. \quad m_1 = \frac{1980}{400.309}(178.103 - 26666\tfrac{2}{3}.\tfrac{1}{2}) = 70.$$

Mithin sind zum Ausschöpfen der Luft *vor* der Fahrt $70 + \frac{1}{10}.70 = 77$ Pferdekräfte nöthig.

C. Die Zahl der Pferdekräfte zum Ausschöpfen des Rests der Luft *während* der Fahrt ist nach (30.)

$$91. \quad m_2 = \frac{\sigma\mu p}{t\varphi},$$

und hier ist $t = 7\frac{1}{2}$ Minuten $= 450$ Sec. Also ist

$$92. \quad m_2 = \frac{1980.\frac{1}{2}.26666\frac{2}{3}}{450.400} = 147 \text{ und } + 10 \text{ pr. C.} = 162.$$

D. Es sind also hier, um die Luft *ohne* Behälter so aus der Röhre herauszuschaffen, dafs man mit 8 Meilen Geschwindigkeit fahren kann, zwei Dampfmaschinen, jede von 81 Pferdekräften, und zwei Luftpumpen, jede mit 89 C. F. Gröfse des Stiefels nöthig. Für die beiden Dampfmaschinen ist 33 000 Thlr. zu rechnen.

Zu der Vorrichtung *mit* Behältern waren nach (70.) zwei Dampfmaschinen, jede von 43 Pferdekräften, und zwei Luftpumpen, jede mit 35 C. F. Stiefelraum nöthig. Für diese beiden Dampfmaschinen ist 19 000 Thlr. zu rechnen. Die nöthigen *Behälter* kosteten nach (§. 20.) 16 000 Thlr., thut zusammen 35 000 Thlr., also nur 2000 Thlr. mehr als bei der ersten Art *ohne* Behälter. Diese 2000 Thlr. werden aber gewifs schon bei den Luftpumpen, welche noch nicht halb so grofs nöthig sind, reichlich erspart, so dafs die Anlagekosten der Vorrichtung *mit* Behältern *nicht* höher sind, als die *ohne* Behälter. Die Kosten beim Gebrauch werden auch nicht höher sein, da die kleinern Maschinen von 86 Pferdekräften 12 Stunden *ununterbrochen* nicht mehr zu heizen kosten werden, als die unterbrochene Heizung der stärkern Maschinen von 162 Pferdekräften zu dem 12mal etwa 12 Minuten oder zusammen etwa $2\frac{1}{2}$ Stunden langen Gebrauch, was gewifs wenigstens 5 Stunden Heizung erfordert. Man *gewinnt* also rein die in §. 19. aufgezählten Vortheile der Behälter, und daher ist zu denselben unbedenklich zu rathen.

b. Zweiter Fall, mit zusammengeprefster Luft in der Triebröhre.

25.

A. Hier giebt (34.) die Gröfse k des Pumpenstiefels, nemlich

$$93. \quad k = (1+\mu)\frac{p}{n},$$

weil die Luft durch n Kolbenschläge während der Fahrt herauszuschaffen ist. Da in (§. 24. I.) $n = 150$ war, so findet sich

$$94. \quad k = 1\tfrac{1}{2}.\frac{26666\frac{2}{3}}{150} = 267.$$

Es sind also zwei Luftpumpen, jede mit $133\frac{1}{2}$ Raum-Inhalt des Stiefels nöthig.

B. Die Zahl der nöthigen Pferdekräfte giebt (39.), nemlich

$$95. \quad m_1 = \frac{\sigma\mu(1+\mu)p}{t\varphi} = \frac{1980.\frac{1}{2}.\frac{3}{2}.26666\frac{2}{3}}{7\frac{1}{2}.60.400} = 220, \quad \text{und } +10 \text{ pr. C.} = 242,$$

weil die Fahrt in $7\frac{1}{2}$ Minuten zurückgelegt werden soll und also $t = 7\frac{1}{2}.60$ ist.

C. Es sind demnach für die Vorrichtung *ohne* Behälter 2 Dampfmaschinen, jede von 121 Pferdekräften, und 2 Luftpumpen, jede mit 133½ C. F. Stiefelraum nöthig. Für die beiden Dampfmaschinen ist 43 000 Thlr. zu rechnen.

Zu der Vorrichtung *mit* Behältern waren nach (23.) zwei Dampfmaschinen, jede von 38 Pferdekräften, und 105 Behälter, jeder von 509 C. F. Inhalt nöthig, welche nach (84.) zusammen 61 000 Thlr. kosteten; aber nur eine Luftpumpe von 33⅓ C. F. Stiefelraum.

Der Überschufs der Kosten von 18 000 Thlr. für die Dampfmaschinen und Behälter wird freilich vielleicht nicht ganz bei den kleineren Luftpumpen erspart werden, aber doch zum Theil. Die Heizung zweier Maschinen, jede von 38 Pferdekräften, ununterbrochen 12 Stunden lang, mag auch nicht weniger kosten, als die von zwei Maschinen, jede von 121 Pferdekräften zum 12mal 7½ Min. oder 1½ Stunden langen Gebrauch. Indessen ist der etwaige Überschufs der Kosten doch verhältnifsmäfsig viel zu gering, als dafs dadurch die Vortheile der Behälter zu theuer erkauft würden, und daher ist auch in diesem Fall wohl zu den Behältern zu rathen.

Anm. Es darf nicht unerwähnt bleiben, dafs hier ein Umstand, der auf die gröfsere oder geringere Geschwindigkeit der Fahrt Bezug hat, *nicht berücksichtigt* worden ist. Es ist nemlich zur *Hervorbringung der Geschwindigkeit* eine *dynamische* Kraft nöthig, deren Gröfse weiter unten berechnet werden wird. Hier bei der blofsen *Vergleichung* kam dieselbe aber nicht in Betracht, weil sie in den beiden Fällen, mit und ohne Behälter, *dieselbe* ist, und unter der Kraft, welche für den Triebkolben vorausgesetzt wird, als *mitbegriffen* zu betrachten war.

26.

Es ist aber noch der in (§. 19.) erwähnte *vierte* Vortheil der Behälter nachzuweisen, der sich erst jetzt, nachdem die nöthigen Formeln aufgestellt sind, näher zeigen läfst, und der dort, ohne dieselben, blofs angedeutet werden konnte.

A. Nachdem zunächst in dem *ersten* Falle, wo die Luft in der Triebröhre bis auf die Spannung oder Dichtigkeit $1-\mu$ *verdünnt* werden soll, um dem Triebkolben für die ganze Fahrt eine fortwährende Kraft μ zu geben, vb Cub. F. atmosphärische Luft aus dem zu *einer* Fahrt bestimmten Behälterraume

$$96. \quad b = \frac{p}{v-\mu}$$

ausgeschöpft worden sind, mufs man, damit zum Anfange der Bewegung der

Triebkolben die Kraft μ bekomme, den Hahn in der Verbindungsröhre des Behälters und der Triebröhre so lange öffnen, bis μp Cub. F. atmosphärische Luft aus der Triebröhre in den Behälter geströmt sind. Ist dann *zum Anfange* der Bewegung des Wagenzuges die mittlere Kraft μ *hinreichend*, so beginnt der Wagenzug seine Fahrt, und man kann nun weiter die *Geschwindigkeit* derselben, indem man mittels des Hahns die in der Triebröhre noch *übrig gebliebenen* $(1-\mu)$ C. F. atmosphärische Luft *allmälig* in den Behälter strömen läfst, nach Belieben oder Erfordern verstärken oder schwächen. Dieses *letztere* ist schon, wenn *ohne* Behälter die Maschine die Luft *unmittelbar* aus der Triebröhre schöpft, nachdem sie *vor* dem Anfange der Fahrt ebenfalls erst μp Cub. F. Luft aus derselben gezogen hat, *während* der Fahrt nicht anders möglich, als dafs man die Wirkung der Maschine *selbst* schwächt, oder antreibt; was bei den Behältern nie nöthig ist. Dies ist zunächst der *dritte* der in (§. 19.) aufgezählten Vortheile.

Aber es kann gerade zum *Anfange* der Bewegung eine *stärkere* Kraft des Triebkolbens als μ nothwendig sein: entweder um die am Schlufs des vorigen Paragraphs gedachte *dynamische* Kraft hervorzubringen, im Fall sich nicht der Bahn beim Anfange ein stärkeres Gefälle geben läfst, damit die *Schwere* im Verein mit der Triebkraft μ diese dynamische Kraft liefere: oder dann, wenn gar die Bahn beim Anfange der Strecke *steigen* mufs.

Diese *Verstärkung* der anfänglichen Kraft ist, wenn die Maschinen die Luft *unmittelbar* aus der Triebröhre schöpfen, nicht anders hervorzubringen, als dafs man sie *vor* dem Anfange der Bewegung *länger* arbeiten läfst, um die Luft in der Triebröhre erst *mehr* zu verdünnen. Auch kann die Maschine nicht etwa deshalb, weil sie nun *während* der Fahrt nur noch *weniger übrige* Luft aus der Triebröhre zu schöpfen hat, *schwächer* sein: denn da auf der Fahrt weiter hin wieder nur die mittlere Triebkraft μ nothwendig ist, so werden die Wagen, sobald der Widerstand, welchen sie finden, wieder abgenommen hat, dem Ausschöpfen der Maschinen gleichsam voreilen, so lange bis die Spannung $1-\mu$ der Luft in der Triebröhre wieder hergestellt ist; und dann mufs der Kolben für die weitere Fahrt immer die dieser Spannung angemessene Kraft haben. Sollte die vor dem Anfange der Fahrt erzeugte geringere Spannung der Luft in der Triebröhre *bleiben* (was aber unnütz wäre, indem dann ein Überschufs von Kraft vorhanden sein würde, der durch Hemmen wieder vernichtet werden müfste), so müfsten die Maschinen für das Ausschöpfen *während* der Fahrt sogar *stärker* sein, weil sie dann unter einem stärkeren Druck

der äufseren Luft zu arbeiten haben würden. Jedenfalls also ist eine *Zulage* an Kraft nöthig, wenn vor dem Anfange der Bewegung eine *stärkere* Kraft des Triebkolbens hervorgebracht werden soll.

Sind dagegen *Behälter* vorhanden, so läfst sich eine vor dem Anfange der Bewegung nöthige Verstärkung der Kraft blofs durch *längere Öffnung des Hahns* in der Verbindungsröhre hervorbringen, ohne dafs im geringsten vorher mehr Luft aus den Behältern auszuheben nothwendig wäre; und zwar eine ziemlich bedeutende Verstärkung.

Es ist nemlich die Luft aus dem für *eine Fahrt* bestimmten Behälterraume b bis zur Spannung $1-\nu$ und so weit ausgepumpt vorausgesetzt worden, dafs *erst dann*, wenn die *gesammten* in der Röhre enthaltenen p C. F. atmosphärische Luft in den Behälter eingelassen worden sind, in demselben die Spannung $1-\mu$ hergestellt wird. Werden also *vor* dem Anfange der Fahrt erst blofs diejenigen μp C. F. Luft in die Behälter gelassen, deren Entfernung aus der Triebröhre nothwendig ist, um dem Kolben die Triebkraft μ zu geben, so ist dadurch noch keinesweges die Fähigkeit des Behälters, Triebkraft hervorzubringen, erschöpft; vielmehr läfst sich die Spannung der Luft in der Triebröhre noch über $1-\mu$ hinaus, bis zu $1-x$ vermindern und also eine Triebkraft $x>\mu$ hervorbringen, wenn man den Hahn in der Verbindungsröhre *so lange* offen läfst, bis die Spannung der Luft in der Triebröhre mit der der Luft in dem Behälter ins Gleichgewicht sich gesetzt oder in *beiden* Räumen die *gleiche* Spannung angenommen hat. Es befinden sich nemlich in der Triebröhre p C. F. und in dem Behälter $(1-\nu)b$ C. F. atmosphärische Luft. Läfst man diese $p+(1-\nu)b$ C. F. Luft in den *ganzen* Raum $p+b$ sich verbreiten, so entsteht eine Spannung von

$$97.\quad 1-x=\frac{p+(1-\nu)b}{p+b}.$$

Dieses giebt

$$98.\quad x=1-\frac{p+(1-\nu)b}{p+b}=\frac{\nu b}{p+b}=\frac{\nu}{1+\frac{p}{b}}.$$

Nun ist für *eine* Fahrt $b=\frac{p}{\nu-\mu}$ (44.). Dieses giebt $\frac{p}{b}=\nu-\mu$, also in (98.)

$$99.\quad x=\frac{\nu}{1+\nu-\mu}.$$

Dies ist Triebkraft, welche sich dem Kolben in der Triebröhre, statt derjenigen μ, *blofs durch längere Öffnung des Hahns* und ohne alle Vermehrung der

Wirkung der Maschinen vor dem Anfange der Bewegung geben läfst. Für die oben in dem Beispiel angenommenen $\nu = \frac{5}{6}$ und $\mu = \frac{1}{2}$ ist $x = \frac{5}{6(1+\frac{5}{6}-\frac{1}{2})} = \frac{5}{6+5-3} = \frac{5}{8}$, also um $\frac{1}{8}$, oder um den *vierten* Theil gröfser als μ. Eine solche Verstärkung der Triebkraft kann dem Werke unter schwierigen Umständen sehr zu Statten kommen. *Während* der Fahrt geht *nichts verloren*. Läfst man den Hahn fernerhin ganz offen, so sinkt die Triebkraft, so wie der Kolben die nun in der Röhre noch befindlichen xp C. F. atmosphärische Luft durch sein Übergewicht in den Behälter treibt, von selbst allmälig bis zu der Triebkraft μ hinab, die aber der Kolben auch noch bis zum Schlusse der Fahrt behält. Will man die Geschwindigkeit, und also den Überschufs von x über μ mäfsigen, so darf man nur den Hahn ein wenig verschliefsen, und ihn wieder öffnen, sobald es erforderlich ist.

B. In dem *zweiten* Fall, wenn die Luft in der Triebröhre *zusammengeprefst* werden soll, ist es offenbar, dafs, wenn im Anfange der Bewegung durch die *unmittelbare* Wirkung der Maschine auf die Triebröhre eine stärkere Kraft des Triebkolbens als μ hervorgebracht werden soll, dazu auch mehr Kraft nöthig ist. Denn die Kraft, um den Kolben der Pumpe niederzudrücken, ist $\varkappa\mu\sigma$ (35.): sie ist also gröfser, wenn μ gröfser ist. Sind dagegen *Behälter* vorhanden, in welchen die Kraft stärker als auf die Spannung μ zusammengeprefst ist, und sein mufs, so ist nichts weiter nöthig, als den Hahn mehr zu öffnen. In dem obigen beispielsweise gesetzten Falle, wo $\nu = 2$ angenommen wurde, läfst sich die Kraft des Triebkolbens beim Anfange der Bewegung bis auf $\nu = 2$, also gegen μ nicht blofs um den vierten Theil, sondern bis auf das *vierfache* verstärken.

Also auch in diesem Punct gewähren die Behälter einen wesentlichen Vortheil.

Es ist allerdings wahr, dafs sich die Resultate der Vergleichung der beiden Vorrichtungen, ohne Behälter und mit Behältern, ändern, wenn überhaupt eine gröfsere oder geringere Triebkraft des Kolbens in der Triebröhre, oder deshalb eine gröfsere oder kleinere Triebröhre nöthig ist. Die Vergleichung kann nach den obigen Ausdrücken angestellt werden: allein man wird auch immer, wenigstens in den gewöhnlichen Fällen, finden, dafs die Vorrichtung *mit* Behältern, worauf es hier allein ankam, vortheilhafter ist, als die *ohne* Behälter.

X. *Vorrichtung No. III. §. 4. mit einer durch eingepumpte Luft sich aufblähenden Triebröhre ohne Schlitz.*

27.

Diese Vorrichtung ist, was die Wirkung der Maschine auf sie betrifft, ganz in *demselben* Falle wie die No. II. einer Triebröhre mit *Kolben*, in welcher die Luft *hinter* dem Kolben, entweder durch die Maschine unmittelbar, oder durch Vermittlung von Behältern zusammengeprefst wird. Alle obigen, die Vorrichtung No. II. angehenden Formeln, Berechnungen und Bemerkungen passen also auch unverändert auf No. III. Allein es fragt sich, ob und in wiefern etwa die auf die Spannung $1+\mu$ zusammengeprefste Luft auf das Forttreiben des Wagenzuges vermittels des Rades R (Fig. 7.), bei gleichem Querschnitt und Raum-Inhalt der Triebröhre, *anders* wirke, als vermittels eines Triebkolbens.

In Fig. 10. stelle CFA das Rad, $DFEA$ die Triebröhre vor. Es sei $AM=x$, $MP=y$, der Bogen $AP=s$, $CA=r$, $GA=h$. Das Differential des Bogens ds wird nach der Richtung RPC, senkrecht auf die Tangente TQ, mit der Kraft μds gedrückt, wenn μ, wie oben, der Überschufs der Spannung $1+\mu$ der Luft in der Triebröhre über die Spannung 1 der äufsern Luft ist. Diese Kraft bringt eine Kraft $\mu ds.\frac{RN}{RP}=\mu\partial s.\frac{\partial x}{\partial s}=\mu\partial x$ nach der Richtung BP und eine Kraft $\mu ds.\frac{NP}{RP}=\mu\partial s.\frac{\partial y}{\partial s}=\mu\partial y$ nach der Richtung NP hervor. Die erste ist das Differential der Kraft, welche das Rad, und folglich den Wagenzug *forttreibt;* die andere ist das Differential der Kraft, welche das Rad senkrecht *hebt.*

Das Integral von $\mu\partial x$ ist $\mu x+$ Const., und da dasselbe für $x=0$, Null, also Const. $=0$ ist, das gesammte Integral aber für $x=h$ gefunden wird, so ist dieses Integral

$$100.\quad =\mu h=\mu.AG.$$

Das Integral $\mu\partial y$ ist $\mu y+$ Const., und da dasselbe ebenfalls für $y=0$, Null, also Const. $=0$ ist, das gesammte Integral aber für $y=FG=\sqrt{(2rh-h^2)}$ gefunden wird, so ist dasselbe

$$101.\quad =\mu\sqrt{(2rh-h^2)}=\mu.FG.$$

Multiplicirt man (100. und 101.) noch mit der *Breite* der Röhre, so findet sich, dafs die Kraft, welche das Rad und den Wagenzug forttreibt, μmal der *Querschnitt* der Röhre ist; und dies ist *ganz dasselbe wie bei dem Trieb-*

kolben. Die Kraft, welche das Rad *hebt,* ist μmal der *Querschnitt* der Röhre multiplicirt mit $\frac{FG}{GA}$. Diese Kraft bestimmt das Minimum für das *Gewicht* des Rades.

Also wirkt die zusammengepreſste Luft in der sich *aufblähenden* Röhre auf das Forttreiben des Wagenzuges *völlig eben so,* wie sie auf einen *Triebkolben* in einer Röhre von demselben Querschnitt wirken würde. Folglich ist No. III. auch in diesem Punct von No. II. *nicht* verschieden.

Setzt man, wie oben in der Beschreibung (§. 13.) und in den Zeichnungen angenommen ist, den Halbmesser r des Rades $=30$ Zoll, die Höhe h der Röhre $=6$ Zoll, so ist $FG=\sqrt{(2.30.6-6^2)}=18$ Zoll, also $\frac{FG}{GA}=\frac{18}{6}=3$. Daher wird bei diesen Maaſsen das Rad von der eingepreſsten Luft mit dem *Dreifachen* 3μ der *Triebkraft* des Kolbens *gehoben.* Diese Kraft wird immer nur ein kleiner Theil des Gewichts sein, welches man das Rad niederdrücken lassen kann, so daſs etwa hierdurch der Ausführbarkeit der Vorrichtung No. III. nichts entgegensteht; im Gegentheil hat das Heben des Rades durch die Luft noch den kleinen Vortheil, daſs es um so viel die fortzutreibende Last gleichsam vermindert.

XI. Verhalten der Wirkung der Luft in Triebröhren zu der fortzubewegenden Last.

a. Nöthige Zugkraft.

28.

Das Gewicht der auf der Eisenbahn fortzubewegenden Wagen sei . . . . $= Q$ Pfunde.

Der Theil dieses Gewichts, welcher nöthig ist, die Reibung der Räder an den Schienen und der Wagen-Achsen in ihren Lagern zu überwinden, also die Wagen auf *horizontaler* Bahn fortzuziehen, sei . . . . $= nQ$ Pfunde.

Der Winkel, welchen die Bahn gegen den Horizont macht, sei . . . . $= \beta$.

Steigt die Bahn, so ist β *positiv* zu nehmen, fällt sie, *negativ.* Die nöthige Zugkraft sei . . . . $= Z$.

Das Gewicht Q drückt perpendiculair auf die Schienen mit der Kraft $Q\cos\beta$; also ist die daraus entstehende Reibung, welche zunächst die Zugkraft *in der Richtung der Bahn* zu überwinden hat, $= nQ\cos\beta$. Ferner ist eine Kraft $Q\sin\beta$, ebenfalls in der Richtung der Bahn, nöthig, um die Last Q auf dem Abhang β fortzuziehen; welche Kraft die Zugkraft gleichfalls zu überwinden hat. Es mufs also für das *Gleichgewicht* der Zugkraft und des Widerstandes $Z = nQ\cos\beta + Q\sin\beta$ oder

102. $Z = Q(n + \operatorname{tang}\beta)\cos\beta$ sein.

Die Richtung der Zugkraft ist die der Bahnschienen; welche Richtung auch die Kraft in der Triebröhre haben mag. In dem Ausdruck von Z (102.) wird aber $\cos\beta$, selbst für den stärksten Abhang einer Eisenbahn, welcher vorkommen kann, immer nur sehr wenig von 1 verschieden sein. Z. B. selbst für einen Abhang von 1 auf 25, also für $\operatorname{tang}\beta = 0{,}04$, ist $\cos\beta$ schon 0,9992, also von 1 nur um $0{,}0008 = \frac{1}{1250}$ verschieden; für einen Abhang von 1 auf 40, also für $\operatorname{tang}\beta = 0{,}025$, ist $\cos\beta = 0{,}99969$, also von 1 nur um 0,00031 $= \frac{1}{3226}$ verschieden. Man wird daher ohne merklichen Fehler im allgemeinen $\cos\beta = 1$ und folglich statt (102.) blofs

103. $Z = Q(n + \operatorname{tang}\beta)$

setzen können; jedoch kann man für sehr steile Stellen der Bahn den genaueren Ausdruck (102.) beibehalten.

b. Nöthige Kraft zur Hervorbringung der Geschwindigkeit.

29.

A. Die Kraft Z (102. oder 103.) ist erst die, welche dem Widerstande das *Gleichgewicht* hält. Sie bringt noch keine *Bewegung* hervor. In der That: läfst man sie bei der Abfahrt auf die Wagen wirken, so wird zwar die geringste weitere Zulage zu der Kraft den Wagenzug in Bewegung setzen, aber *ohne* Zulage bleiben die Wagen stehen. Es ist demnach zum *Anfange* der Bewegung noch eine *Zulage an Kraft* nöthig, um in einer bestimmten Zeit die Geschwindigkeit, mit welcher man fahren will, *hervorzubringen*. Mit dieser Zulage verhält es sich wie folgt.

B. Liefse man eine *unveränderliche* Kraft, über Z hinaus, während T Secunden wirken, so würde dieselbe, gleich der Kraft der Schwere, eine *gleichförmig zunehmende* Geschwindigkeit hervorbringen, und die Kraft müfste so lange wirken, bis die verlangte Geschwindigkeit erreicht ist. Aber man wird es vielleicht vorziehen, nur erst Anfangs die Wagen in der Zeit t schnell

in Bewegung zu setzen, wenn auch hernach ihre Geschwindigkeit weniger schnell zunimmt. Zu diesem Ende müfste die Kraft Anfangs am stärksten sein und könnte dann allmälig bis zu Null, etwa *gleichförmig*, abnehmen.

C. Man setze daher, die beschleunigende Kraft, welche angewandt wird, sei

$$104. \quad q.\frac{T-t}{T},$$

nemlich $=q$ für $t=0$ und, gleichförmig abnehmend, $=0$ für $t=T$. Diese Kraft bringt in der Zeit ∂t die Geschwindigkeit $\partial v=2gq.\frac{T-t}{T}\partial t$ hervor: also ist $v=2gq\left(t-\frac{t^2}{2T}\right)+\text{Const.}$, und da $v=0$ für $t=0$, also Const. $=0$ ist,

$$105. \quad v = 2gqt\left(1-\frac{t}{2T}\right) \text{ und für } t=T, \quad v=gqT.$$

Mit der Geschwindigkeit v wird in der Zeit ∂t der Raum $\partial x = v\partial t = \left(t^2-\frac{t^2}{2T}\right)\partial t$ durchlaufen. Dies giebt $x=gq\left(t^2-\frac{t^3}{3T}\right)+\text{Const.}$ und, da $x=0$ für $t=0$ ist, Const. $=0$, also

$$106. \quad x = gqt^2\left(1-\frac{t}{3T}\right) \text{ und für } t=T, \quad x=\tfrac{2}{3}gqT^2.$$

D. Wäre die beschleunigende Kraft *nicht* gleichförmig abnehmend, sondern *unveränderlich*, so wäre, statt des Obigen ∂v, $\partial v_1=2gq_1\partial t$ und $v=2gq_1t+\text{Const.}$ und, wegen Const. $=0$,

$$107. \quad v_1=2gq_1t \text{ und für } t=T, \quad v_1=2gq_1T,$$

sowie $\partial x_1=v_1\partial t=2gq_1t\partial t$, also $x_1=gq_1t^2+\text{Const.}$ und, wegen Const. $=0$,

$$108. \quad x_1=gq_1t^2 \text{ und für } t=T, \quad x_1=gq_1T^2.$$

E. Das *Moment M* einer Kraft ist *das Product derselben in die Zeit:* also ist M in dem ersten obigen Fall das Integral von $q.\frac{T-t}{T}\partial t$, im zweiten Fall von $q\partial t$, folglich

109. $M = q\left(t-\frac{t^2}{2T}\right)$ und $M=\frac{1}{2}qT$ für $t=T$ für den *ersten* und

110. $M_1= q_1t$, also $M_1 = q_1T$ für $t=T$ für den *zweiten* Fall; denn in beiden Fällen ist Const. $=0$.

F. Nimmt man nun die veränderliche abnehmende Kraft q für den *Anfang* der Bewegung *doppelt* so grofs an, als die *unveränderliche* Kraft q_1, also $q=2q$, so ist zufolge (109. und 110.) das *Moment dasselbe.* Desgleichen wird durch beide Kräfte, wie aus (105. und 107.) zu sehen, in *derselben* Zeit T *dieselbe* Geschwindigkeit v erlangt: aber der *Raum x*, durch

welchen die ***abnehmende*** Kraft $2q_1$ in der Zeit T den Wagenzug getrieben hat, ist zufolge (106. und 108.) für $q = 2q_1$ gleich $\frac{4}{3} g q_1 T^2$, also um $\frac{1}{3}$ *größer* als der Raum $g q_1 T^2$, durch welchen die *unveränderliche* Kraft q_1 den Wagenzug in eben der Zeit T fortbringt. Und da nun das *Moment* der beiden Kräfte dasselbe ist, und es darauf ankommt, in derselben Zeit einen möglichst grofsen Raum zu durchlaufen, so wäre die *doppelte*, gleichförmig bis zu Null *abnehmende* Kraft, wenn eine solche zu haben ist, im allgemeinen *vortheilhafter*, als die *einfache unveränderliche* Kraft.

G. Die nöthige *beschleunigende*, gleichförmig abnehmende Kraft q, um in der Zeit T die Geschwindigkeit v hervorzubringen, ist nach (105.)

$$111. \qquad q = \frac{v}{gT},$$

also die für die Masse Q nöthige *bewegende* Kraft

$$112. \qquad 2K = qQ = \frac{v}{gT} Q.$$

Es wird hinreichend sein, wenn von der Ruhe an die Geschwindigkeit von 4 Meilen auf die Stunde, also $26\frac{2}{3}$ F. in der Secunde, in 2 Minuten hervorgebracht wird; denn in 3 Minuten wird man dann schon 6 Meilen, in 4 Minuten 8 Meilen Geschwindigkeit erlangen. Man kann also in (112.) $v = 26\frac{2}{3}$, $T = 2.60 = 120$ setzen, welches, da $g = 15\frac{5}{8}$ F. ist,

$$113. \qquad qQ = \frac{26\frac{2}{3}}{15\frac{5}{8}.120} . Q = \text{etwa } \tfrac{1}{70} Q. \text{ giebt.}$$

Es ist also etwa der 70te Theil des *Gewichts des Wagenzuges Q* nöthig, um die verlangte Wirkung hervorzubringen. Der bis zur Erlangung der Geschwindigkeit $v = 26\frac{2}{3}$ durchlaufene *Raum* ist zufolge (106.)

$$114. \qquad x = \tfrac{2}{3} . 15\tfrac{5}{8} . \tfrac{1}{70} . 120^2 = 2143 \text{ F.} = 179 \text{ Ruthen.}$$

H. Ist eine so starke Kraft nicht gut zu haben, so bringt auch die *Hälfte* davon, also $\frac{Q}{140} = K$, aber *unveränderlich* stark, in 2 Minuten ebenfalls die Geschwindigkeit $v = 26\frac{2}{3}$ F. hervor, aber es werden dann nach (108.) in den 2 Minuten nicht 179 Ruthen, sondern nur

$$115. \qquad x_1 = 15\tfrac{5}{8} . \tfrac{1}{140} . 120^2 = 134 \text{ Ruthen Weges}$$

zurückgelegt. Da der Unterschied nicht bedeutend ist, so ist es *practisch* wieder besser, die *Hälfte* der Kraft *unveränderlich* wirken zu lassen, als die ganze Kraft abnehmend.

I. Jeder beliebige Überschufs an Kraft bringt am Ende die verlangte Geschwindigkeit hervor; aber erst in um so längerer Zeit, je schwächer die

Kraft ist. Aus (107.) folgt

$$116.\qquad T=\frac{v_1}{2gq_1},$$

welche Zeit nöthig ist, um durch die beschleunigende *gleichförmige* Kraft q_1 oder durch die bewegende Kraft $q_1 Q$ die Geschwindigkeit v_1 zu erzeugen. Der dabei durchlaufene Raum ist nach (108.) $x_1=gq_1T^2$, also, wenn man hierin den Werth von T aus (116.) setzt,

$$117.\qquad x_1=gq_1\frac{v_1^2}{4g^2q_1^2}=\frac{v_1^2}{4gq_1}.$$

Wäre die Zeit T hindurch die Geschwindigkeit v_1 *schon vorhanden gewesen*, so würde der Raum x_1 (47.) in

$$118.\qquad \frac{x_1}{v_1}=T_1=\frac{v_1}{4gq_1}$$

Secunden durchlaufen worden sein. Es gehen also auf die Hervorbringung der Geschwindigkeit v_1

$$119.\qquad T-T_1=\frac{v_1}{2gq_1}-\frac{v_1}{4gq_1}=\frac{v_1}{4gq_1}\text{ Secunden Zeit}$$

verloren, und diese Zeit ist um so gröfser, je kleiner q_1 ist. Für $q_1=\frac{1}{140}$ und $v_1=26\frac{2}{3}$, wie oben z. B., ist $T-T_1=\frac{26\frac{2}{3}.140}{4.15\frac{1}{2}}=60$ Sec. $=1$ Minute. Für $q_1=\frac{1}{280}$ wäre $T-T_1=2$ Minuten; für $q_1=\frac{1}{1000}$ gleich $7\frac{1}{7}$ Minuten; welches letztere schon zu viel ist. Man wird nicht wohl q_1 kleiner als $\frac{1}{280}$ bis $\frac{1}{300}$ annehmen dürfen.

K. Läfst sich die *Triebkraft* so einrichten, dafs sie jedesmal in allen Puncten der Bahn und für die verschiedenen Gefälle β immer genau der Kraft $Z=Q(n+\tang\beta)$ (103.) gleich ist, so ist die Zulage der während der Zeit T wirkenden unveränderlichen Kraft $K=\frac{vQ}{2gT}$ (112.) *nur einmal,* nemlich *nur* beim *Anfange* der Bewegung nöthig, und der Wagenzug rollt, nachdem er einmal die Geschwindigkeit v_1 erlangt hat, mit dieser gleichbleibenden Geschwindigkeit durch die ganze Bahn. Ist dagegen die Triebkraft *nicht* veränderlich (und dies ist im Allgemeinen der Fall in einer *Triebröhre*), so ist *jedesmal,* wenn die Geschwindigkeit in Folge des Ersteigens von Anhöhen abgenommen hat, wieder eine *neue* Kraft zur *Herstellung* der Geschwindigkeit nothwendig.

c. Moment der nöthigen Zugkraft.

30.

A. Das Product einer Kraft in die *Länge* des Weges kann bei der *gleichförmigen* Bewegung ebenfalls als ein *Moment* derselben betrachtet werden. Dasselbe ist gleich der Summe der *für die Dauer der Fahrt* nöthigen *Pferdekräfte* und giebt also, dividirt durch die Zahl der Secunden, welche die Bewegung währt, und durch das Moment einer Pferdekraft für eine Secunde, die Anzahl der nöthigen *Pferdekräfte.* Wenn nemlich die Kraft $=Z$, die Länge des Weges L, die Zeit der Bewegung t ist, und eine Pferdekraft für eine Secunde wie oben durch φ, ihre Anzahl durch m ausgedrückt wird, so ist

$$120.\quad ZL = m\varphi t \quad \text{und} \quad m = \frac{ZL}{\varphi t}.$$

Wäre z. B. $Z=480$ Pfd., $L=\frac{1}{2}$ Meile $=12000$ F., $t=1$ Stunde $=3600$ Sec., so giebt (120.), weil $\varphi = 120.3\frac{1}{3} = 400$ ist (16.), $m = \frac{480.12000}{400.3600} = 4$. Es wären also 4 Pferdekräfte nöthig, um 480 Pfd. in 1 Stunde $\frac{1}{2}$ Meile weit zu ziehen; dies vermögen in der That 4 Pferde *unmittelbar,* denn jedes hat 120 Pfd. Zugkraft und $3\frac{1}{3}$ F. Geschwindigkeit in der Secunde, mit welcher es die halbe Meile in einer Stunde zurücklegt. Soll der Weg in geringerer Zeit zurückgelegt werden, so vermögen dies zwar die Pferde nicht unmittelbar, wohl aber vermag es eine verhältnifsmäfsig gröfsere *Zahl* von Pferden in verhältnifsmäfsig kürzerer *Zeit,* wenn man sie irgend eine *Maschine* in Bewegung setzen läfst, durch welche die verlangte gröfsere Geschwindigkeit hervorgebracht wird. Immer drückt ZL die Summe der Pferdekräfte *für die bestimmte Zeit* t aus und ist daher ein wirkliches, unveränderliches Moment der Kraft.

B. Nun habe die Bahn der Reihe nach zunächst auf die horizontal gemessene Länge L_1 den Neigungswinkel β_1 gegen den Horizont und ersteige auf diese Länge die senkrechte Höhe h_1, oder senke sich um dieselbe hinab, wenn β_1 negativ ist; weiterhin auf die Länge L_2 den Neigungswinkel β_2 für die Höhe h_2; ferner auf die Länge L_3 den Neigungswinkel β_3 für die Höhe h_3 u. s. w. Die ganze horizontal gemessene Länge der Bahn sei

$$121.\quad L = L_1 + L_2 + L_3 \ldots$$

Die Höhen $h_1, h_2, h_3, \ldots$ werden durch

$$122.\quad h_1 = L_1 \tang\beta_1, \quad h_2 = L_2 \tang\beta_2, \quad h_3 = L_3 \tang\beta_3 \ldots$$

ausgedrückt.

Dann ist das *obige Moment* der *Zugkraft* auf die Länge L_1, nach (103.) ausgedrückt, $L_1 Q(n + \tang\beta_1)$, auf die folgende Länge L_2 gleich $L_2 Q(n + \tang\beta_2)$, auf die weiter folgende Länge $= L_3 Q(n + \tang\beta_3)$ u. s. w. Mithin ist das *gesammte Moment* der Zugkraft für die *ganze* Länge der Bahn, welches durch W bezeichnet werden mag, für die bestimmte Zeit t, in welcher die Bahn durchlaufen werden soll,

123. $$W = Q[nL_1 + nL_2 + nL_3 \ldots + L_1 \tang\beta_1 + L_2 \tang\beta_2 + L_3 \tang\beta_3 \ldots]$$

und dies ist gemäfs (121. und 122.) so viel als

124. $$W = Q(nL + h_1 + h_2 + h_3 \ldots).$$

Stellt man sich noch n (§. 28. *A.*) als die Tangente eines Winkels ζ vor und setzt

125. $$nL = L \tang\zeta = H,$$

so ist H diejenige *Höhe*, welche die Bahn noch ersteigen würde, wenn sie ihre *ganze Länge* L hindurch einen Abhang *mehr* hätte, dessen Winkel mit dem Horizont $= n$ wäre. Nach dieser Bezeichnung und wenn man noch

126. $$h_1 + h_2 + h_3 \ldots = H_1$$

setzt, ist dann in (124.)

127. $$W = Q(H + H_1).$$

C. Da nun H_1 (126.) nichts anders ausdrückt, als die *Höhe*, um welche der *Endpunct* der Bahn *höher* oder *tiefer* liegt als ihr *Anfangspunct*, so folgt, dafs das Moment der nöthigen Zugkraft für die ganze in der Zeit t zu durchlaufende Länge der Bahn kein anderes ist als das, welches nöthig sein würde, das *ganze Gewicht* Q *des Wagenzuges* auf die Höhe $H = Ln$ (125.) *plus* oder *minus* der Höhe, welche der Endpunct der Bahn höher oder tiefer liegt als ihr Anfangspunct, in der nemlichen Zeit t *senkrecht in die Höhe zu heben;* und zwar in dem Fall, *wenn sich in jedem Puncte der Bahn die Zugkraft nach den verschiedenen Abhängen* β_1, β_2, β_3, ... *genau dem Ausdruck* $Z = Q(n + \tang\beta)$ (103.) *gemäfs einrichten, auch auf den Abhängen* β, *wo* $Q(n + \tang\beta)$ *negativ ist, der Überschufs der Wirkung der Schwere aufsammeln läfst.* Ist das letztere nicht füglich möglich, so mufs man diejenige *negative* Höhe h, für welche $Q(n + \tang\beta)$ *negativ* ist, von H_1 (126.) *ausschliefsen* und nur die andere *negative* Höhe zu den *positiven* beibehalten, für welche $Q(n + \tang\beta)$ noch *positiv* ist; die *positiven* Höhen kommen unbeschränkt in Rechnung, was auch β für sie sein mag. Sind *keine* β vorhanden, für welche $Q(n + \tang\beta)$ *negativ*, also $\tang\beta < n$ ist, das heifst, keine

Stellen der Bahn, wo sie *stärker fällt*, als um $\tang\beta = n$, so leidet das obige Resultat *keine* Veränderung.

D. Es wird nach (§. 28. *A.*) durch n der *Bruch* bezeichnet, mit welchem Q multiplicirt werden mufs, um die zur Überwindung der Reibung des Wagenzuges auf *horizontaler* Bahn nöthige Kraft zu finden. Nach der Erfahrung kann auf Eisenbahnen

$$128.\quad n = \frac{1}{250}$$

gesetzt werden. Also ist $H = nL = \frac{L}{250}$ (125.) und in (127.)

$$129.\quad W = Q\left(\frac{L}{250} + H_1\right).$$

E. Zu diesem W kommt noch das Moment der dynamischen Kraft (§. 29.) hinzu, welche beim Anfange der Bewegung zur Hervorbringung der verlangten Geschwindigkeit der Fahrt nöthig ist. Da aber dieses Moment bei der *Vergleichung*, die nun folgen soll, das nemliche bleibt, so kommt es bei dem Vergleiche nicht in Betracht.

d. Vergleichung.

31.

Auf Eisenbahnen mit Triebkolben in einer Triebröhre läfst sich die Triebkraft im allgemeinen *nicht* nach Erfordern der verschiedenen Abhänge der Bahn verstärken oder schwächen, sondern sie ist im allgemeinen der *unveränderliche* Überschufs μ des Drucks der Luft auf den Triebkolben, mag dieser Überschufs durch *Verdünnung* der Luft *vor* dem Kolben, oder durch *Zusammenpressung* der Luft *hinter* dem Kolben hervorgebracht werden.

Zwar läfst sich allerdings μ *verändern*, und zwar in dem Fall der *Verdünnung* der Luft *vor* dem Triebkolben dadurch, dafs man, wenn keine Behälter vorhanden sind, das Auspumpen mäfsigt oder verstärkt, und wenn Behälter vorhanden sind, den Hahn in der Verbindungsröhre mehr oder weniger verschliefst; desgleichen in dem Fall der *Verdichtung* der Luft *hinter* dem Triebkolben durch ein ähnliches Verfahren. Aber die Veränderung der Triebkraft kann immer nur durch den *Maschinisten bei der Luftpumpe oder bei den Behältern*, nicht durch den *Führer des Wagenzuges* geschehen; welcher gleichwohl allein wissen kann, ob und welche Verstärkung oder Schwächung der Triebkraft nöthig sei. Zwar gedenkt man einen electrischen Telegraphen

anzubringen, durch welchen der Führer des Wagenzuges dem Maschinisten *augenblicklich* anzeigen könne, was er zu thun habe. Ob dieses Mittel practicabel sein werde, mufs erst noch die Erfahrung lehren. Aber auch angenommen, es sei ausführbar, so bleibt doch noch eine zweite, und *viel gröfsere* Schwierigkeit. Wenn nemlich auch der Wagenführer dem Maschinisten durch den Telegraphen *augenblicklich* anzeigen kann, was nöthig sei, so *wirkt* doch Das, was der Maschinist zu thun *im Stande ist*, nemlich das mehr oder weniger Zulassen von Luft, *nicht eben so augenblicklich*. Die Anzeige des Nothwendigen müfste also durch den Wagenführer jedesmal eine *angemessene Zeit vorher* geschehen. Und dafs der Führer im Stande sei, diese Zeit während der reifsenden Schnelligkeit der Fahrt jedesmal richtig zu berechnen, ist nicht wahrscheinlich.

Es ist daher in der Ausübung wohl schwerlich auf eine *willkürliche*, dem Bedürfnifs jedes Augenblicks angemessene Veränderung der Triebkraft für Röhren-Eisenbahnen zu rechnen; wenigstens würden, wenn auch wirklich eine so überaus künstliche Einrichtung *möglich* sein sollte, öftere und arge Mifsgriffe und Versehen gewifs nicht ausbleiben, und diese könnten dann leicht so viel *Schaden* und selbst so grofse *Gefahren* zur Folge haben, dafs dagegen der etwa zu erlangende Vortheil nicht aufkäme. Denn da dem Maschinisten vom Wagenführer höchstens angezeigt werden kann, ob so eben die Fahrt zu langsam oder zu schnell vor sich gehe, so kann es, wenn die Abhänge der Bahn schnell und oft wechseln, was auf längern Linien häufig der Fall sein wird, besonders wenn die Bahn, wie es so sehr zu wünschen ist, mehr *dem Terrain folgt*, nur zu leicht geschehen, dafs die Triebkraft gerade da, wo sie abnehmen sollte, zunimmt, und umgekehrt. Practisch scheint es daher, könne man immer nur auf eine *unveränderliche* Triebkraft rechnen.

Nimmt man dieselbe nun auf *diese* Weise an, so ist es offenbar, dafs sie stark genug sein müsse, um mit ihr den *stärksten der vorkommenden Abhänge zu ersteigen*. Und da sie nun *unveränderlich* sein soll, so mufs sie *eben so stark* sein, als wenn der *stärkste der Abhänge durch die ganze Länge der Bahn Statt fände*. Da wo sie *zu stark* ist, bleibt nichts übrig, als den Überschufs durch *Hemmen zu vernichten*. Bezeichnet man daher den *stärksten* der Abhänge durch β_m und setzt

$$130.\quad \tang\beta_m = n_m,$$

so ergiebt sich nach (123.) für das *Moment* auf einer Eisenbahn mit Triebröhre und Triebkolben, welches W_1 bezeichnen mag,

$$W_1 = Q[nL_1 + nL_2 + nL_3 \ldots + Ln_m] \text{ oder}$$
$$W_1 = Q(nL + n_m L) \text{ oder, da } n = \tfrac{1}{250} \text{ ist (128.),}$$
131. $$W_1 = QL(\tfrac{1}{250} + n_m).$$

Dieses Moment kann nun leicht *bei weitem* gröfser sein, als das Moment W (127. oder 129.) der *wirklich* nöthigen Kraft. Nimmt man z. B. eine Bahn an, deren Anfangs- und Endpuncte *gleich hoch* liegen, so ist in (129.) $H_1 = 0$ und also

132. $$W = \frac{QL}{250} = \tfrac{4}{1000} QL.$$

Beträgt der *stärkste* Abhang dieser Bahn auch nur 1 auf 100, welches nicht viel ist, wenn man, um Erd-Arbeiten zu sparen, mehr dem Terrain folgen will, so ist $n_m = \tfrac{1}{100}$, also nach (131.)

133. $$W_1 = QL(\tfrac{1}{250} + \tfrac{1}{100}) = \tfrac{14}{1000} QL.$$

Das Moment W_1 der nöthigen Triebkraft auf der Eisenbahn mit Triebröhre und Triebkolben ist also hier schon $\frac{14}{4} = 3\frac{1}{2}$*mal so stark*, als nöthig sein würde, wenn man die Triebkraft während der Fahrt nach dem jedesmaligen augenblicklichen Bedürfnifs verstärken oder schwächen könnte. In diesem Punct also sind die Eisenbahnen mit Triebröhre und Triebkolben gegen diejenigen, wo der Wagenführer die Triebkraft in der Gewalt hat, was z. B. auf Eisenbahnen mit *Dampfwagen* so ziemlich der Fall ist, *sehr im Nachtheil.*

Es scheint zwar, dafs der Überschufs der Triebkraft über das Bedürfnifs nicht ganz durch *Hemmen* zu vernichten nöthig sei, sondern dafs man damit vielmehr *um so schneller fahren könne.* Allein es wird vorausgesetzt, und darf vorausgesetzt werden, dafs bei der andern Art, wo der Wagenführer die Triebkraft in der Gewalt hat, schon jede Geschwindigkeit, die zu wünschen und zulässlich sein mag, hervorgebracht werden könne. Aus dem Überschufs der Triebkraft ist also kein Ersatz des Nachtheils zu erwarten.

e. Durchmesser der Triebröhre.

32.

Um die nöthige Triebkraft auf einer Eisenbahn mit Triebröhre und Triebkolben, und daraus den nöthigen Durchmesser der Triebröhre zu finden, sei δ der Durchmesser der Röhre, so ist $\frac{1}{4}\pi\delta^2.\mu\sigma$ (15.) die Wirkung der Luft auf den Triebkolben mit dem Überschufs μ ihrer Spannung über die der Atmosphäre, oder umgekehrt. Dieser Luftdruck mufs der nöthigen Zugkraft

$Z = Q(n + \tang\beta)$ für die ***stärkste*** Steigung β_m der Bahn, für welche $\tang\beta_m = n_m$ gesetzt wurde, (130.) gleich sein: also mufs

$$134. \quad \tfrac{1}{4}\pi\delta^2\mu\sigma = Q(n + n_m)$$

sein, woraus

$$135. \quad \delta = 2\sqrt{\left(\frac{Q(n+n_m)}{\pi\mu\sigma}\right)} \text{ Fufs}$$

folgt.

Es sei z. B. das Gewicht der fortzuziehenden Wagen $Q = 1500$ Ctr. $= 165\,000$ Pfd. Setzt man, dafs aus der Triebröhre für ***verdünnte*** Luft ***vor*** dem Kolben die Luft bis auf $\frac{1}{2}$ Atmosphäre Überschufs des Drucks ausgeschöpft werden soll, so ist $\mu = \frac{1}{2}$, und setzt man die stärkste Steigung in der Bahn $= \frac{1}{100}$, so ist $n_m = \frac{1}{100}$. Ferner ist $n = \frac{1}{250}$ (128.) $\sigma = 1980$ (15.) und π ist $= 3\frac{1}{7}$. Dieses giebt in (135.)

$$136. \quad \delta = 2\sqrt{\left(\frac{165000.(\frac{1}{250}+\frac{1}{100})}{3\frac{1}{7}.\frac{1}{2}.1980}\right)} = 1{,}722 \text{ Fufs.}$$

Eine solche Triebröhre von beinahe 21 Zoll im Durchmesser würde schon ungemein kostbarer sein. Sollte ein Abhang von 1 auf 40 erstiegen werden können, so müfste

$$137. \quad \delta = 2\sqrt{\left(\frac{165000(\frac{1}{250}+\frac{1}{40})}{3\frac{1}{7}.\frac{1}{2}.1980}\right)} = 2{,}48 \text{ F.}$$

sein. Eine Triebröhre von beinahe $2\frac{1}{2}$ F. im Durchmesser möchte kaum mehr ausführbar sein. Zwar läfst sich der Durchmesser der Triebröhre vermindern, wenn man die Luft ***stärker*** verdünnt. Die ***Grenze*** der Verdünnung ist, wie die Versuche bei Dublin zeigen, etwa $\mu = \frac{4}{5}$. Für diese Verdünnung ergiebt sich statt (136.) $\delta = 1{,}37 =$ etwa $15\frac{1}{2}$ Zoll und statt (137.) $\delta = 1{,}98 =$ etwa 24 Zoll. Der erste Durchmesser ist noch angemessen; aber der zweite ist schon fast zu grofs. Und dann erfordert $\mu = \frac{4}{5}$ ***viel mehr*** Maschinenkraft; auch können dann die Vortheile von ***Behältern*** nicht mehr erlangt werden.

In Rücksicht der ***Gröfse der Triebröhre*** hat das ***Verdichten*** der Luft vor dem ***Verdünnen*** den entschiedenen Vorzug, dafs man den Durchmesser der Triebröhre nach Belieben, und also angemessen bestimmen kann, weil μ, anders wie bei der ***Verdünnung*** der Luft, auch gröfser als $\frac{4}{5}$ sein kann. Aus (134.) folgt

$$138. \quad \mu = 4Q.\frac{n+n_m}{\pi\delta^2\sigma}.$$

Dieses giebt für den angemessenen Durchmesser der Triebröhre von 14 Zoll $= 1\frac{1}{6}$ F. oben, in dem Fall, wo der stärkste zu ersteigende Abhang $\frac{1}{100}$ ist,

$$139. \quad \mu = 4.165000 \frac{\frac{1}{250} + \frac{1}{100}}{3\frac{1}{4}.1\frac{1}{8}.1\frac{1}{8}.1980} \doteq 1{,}09,$$

und wenn der stärkste Abhang $\frac{1}{50}$ ist,

$$140. \quad \mu = 4.165000 \frac{\frac{1}{250} + \frac{1}{50}}{3\frac{1}{4}.1\frac{1}{8}.1\frac{1}{8}.1980} = 1{,}97;$$

und diese Spannungen sind noch recht gut practicabel.

Wir verschieben Das, was ferner über die Anordnung mit Triebröhren und Triebkolben und über die Vergleichung derselben mit andern Einrichtungen zu sagen ist, bis auf weiter unten und geben erst zu der Untersuchung der beiden letzten in §. 4. beschriebenen Anordnungen No. IV. und V. mit *Luftwagen* über, welche von einander bloſs darin verschieden sind, daſs No. IV. die zusammengepreſste Luft aus einer zwischen die Schienen längs der Bahn gelegten Röhre, No. V. dagegen die Luft aus Behältern schöpft, welche sich auf dem Wagen selbst befinden.

XII. *Luftwagen von der ersten Art, bei welchen die zusammengepreſste Luft während des ganzen Kolbenlaufes in die Cylinder eingelassen wird.*

a. Beschreibung desselben und seiner Wirkungen.

33.

A. Ein *Luftwagen* würde, wie schon oben bemerkt, ganz auf dieselbe Weise einzurichten sein, wie ein Dampfwagen; nur mit dem Unterschiede, daſs er keinen Dampfkessel, keine Esse und keinen Schornstein bekommt. Die Zeichnungen eines *Dampfwagens* stellen daher auch, was Räder, Achsen, Kurbeln, Cylinder, Schiebeventile und Lenkung betrifft, ganz eben so alle diese Theile eines *Luftwagens* vor; mit folgenden Abänderungen.

B. Die *zusammengepreſste Luft* nimmt hier die Stelle des *Dampfs* ein. Die Röhre *V* (Taf. V. Fig. 13.) führt, statt dort den *Dampf* aus dem *Dampfkessel,* hier die *Luft* aus dem *Luftbehälter,* sei derselbe eine Röhre zwischen den Schienen, oder auf dem Wagen selbst befindlich, in die Cylinder. In der Lage des Kolbens, welche (Fig. 13. 14. und 15.) vorstellen, tritt die *zusammengepreſste* Luft durch die offene Röhre 1 in den Cylinder *links* vom Kolben und treibt den Kolben von der Linken nach der Rechten. Die auf der andern Seite des Kolbens befindliche, *nicht zusammengepreſste* Luft entweicht durch die Röhre *e* hier, nicht wie der Dampf in den *Schornstein,* sondern ins *Freie.* Am Boden des Cylinders rechterhand angelangt, hat der Kolben mit-

tels der Lenkung *k* (Fig. 15.) die Röhre 1 verschlossen und dagegen die Röhre 2 geöffnet. Die Röhre *e bleibt* offen. Die *zusammengepreſste* Luft tritt also nunmehr durch die Röhre 2 in den Raum *rechts* vom Kolben, treibt ihn von der Rechten nach der Linken, und die zusammengepreſste Luft, welche sich links vom Kolbens befindet, entweicht durch 1 und *e* ins Freie. Und so weiter. So also treibt die *zusammengepreſste Luft* den *Kolben* hin und her, dreht dadurch die Kurbeln *zy* (Fig. 13.) nebst den Triebrädern des Luftwagens um und treibt vermittels dieser Räder den Wagenzug fort.

C. So verhält es sich, wenn der Wagenzug Kraft *bedarf*, um fortgetrieben zu werden. Diese Kraft muſs die *Spannung der zusammengepreſsten Luft* liefern. Anders ist es, wenn der Wagenzug von einem so steilen Abhange hinunterrollt, daſs er nicht allein, um fortgetrieben zu werden, *keiner* Kraft bedarf, sondern daſs die Wirkung der Schwere ihm einen *Überschuſs* an forttreibender Kraft giebt. Ein solcher Überschuſs kann wie folgt benutzt werden, um Luft *von auſsen* für die weitere Fahrt *während der Fahrt* zusammenzupressen; und dazu sind folgende kleine Änderungen der Construction des Dampfwagens nöthig.

D. Erstlich muſs die Röhre *Vv* (Fig. 13.), welche beim Dampfwagen den Dampf aus dem Kessel, beim Luftwagen die zusammengepreſste Luft aus dem Behälter wie oben beschrieben in die Cylinder führt, einen *Hahn* haben, der, wenn man ihn um einen rechten Winkel umdreht, den Weg von *V* nach *v* (Fig. 13.) verschlieſst und zugleich den Weg von *v* durch dieselbe Röhre und durch den Hahn hindurch ins Freie öffnet. Wir wollen diesen Hahn durch H_1 bezeichnen.

Zweitens muſs die Röhre, welche von *e* her dem Dampf beim Dampfwagen den Weg in den Schornstein und beim Luftwagen der zusammengepreſsten Luft, die ihre Dienste geleistet hat, den Weg ins Freie öffnet, nach einem *zweiten Behälter* führen und einen *ähnlichen Hahn* wie die Röhre *Vv* haben, nemlich einen Hahn H_2, der entweder den Weg nach dem Behälter verschlieſst und zugleich den Weg ins Freie öffnet, oder, nachdem er um einen rechten Winkel umgedreht worden ist, umgekehrt.

E. Soll wie oben in (*B.*) die *zusammengepreſste Luft den Kolben* und durch ihn den Wagenzug forttreiben, auf die Weise wie es in (*B.*) beschrieben ist, so dreht man den Hahn H_1 so, daſs er der zusammengepreſsten Luft den Weg aus den Behältern derselben von *V* nach *v*, nemlich nach den *Cylindern* hin öffnet und also zugleich den Weg aus den Cylindern ins *Freie*

verschliefst: desgleichen den Hahn H_2 so, dafs er der Luft, welche im Cylinder ihre Dienste gethan hat, durch *e* den Weg ins *Freie* öffnet und zugleich den Weg nach dem zweiten *Behälter* verschliefst.

Soll dagegen, wenn der Abhang der Bahn so stark ist, dafs der Wagenzug einen Überschufs an Kraft hat, dieser Überschufs benutzt werden, um äufsere Luft in dem *zweiten Behälter* zusammenzupressen, so dreht man den den Hahn H_1, gerade dem Obigen entgegengesetzt, so, dafs er der zusammengeprefsten Luft den Weg aus ihrem Behälter nach den Cylindern in der Röhre *Vv verschliefst* und dagegen der Luft den Weg aus dem Freien in die Cylinder *öffnet;* desgleichen den Hahn H_2 so, dafs er der Luft den Weg durch *e* ins Freie *verschliefst* und ihr dagegen den Weg, ebenfalls durch *e*, nach dem *zweiten Behälter öffnet.* Alsdann wird das Verlangte wie folgt geschehen.

Werden nemlich die *Triebräder* nicht von den Cylinder-Kolben durch die *zusammengeprefste Luft,* sondern von der *Schwerkraft* des Wagenzuges umgedreht (in *beiden* Fällen rollen sie fort, und in der gleichen Richtung), so treiben sie ihrerseits vermittels der Kurbeln die Kolben in den Cylindern hin und her. Gesetzt nun, sie treiben den Kolben in Fig. 13. von der Linken nach der Rechten, so wird die zwischen ihm und dem Cylinderboden rechts befindliche Luft durch *e* hinausgetrieben. Aber dieser Luft ist jetzt der Weg *ins Freie* durch den Hahn H_2 *verschlossen* und dagegen der Weg nach dem zweiten Behälter *geöffnet:* also wird sie in diesen *zweiten Behälter* getrieben und folglich *in demselben zusammengeprefst* werden. Aber zugleich ist die Röhre 1 Fig. 14. offen, und also der Luft der Zutritt in den Cylinderraum *links* vom Kolben gestattet, aber nicht der *zusammengeprefsten* Luft aus ihrem Behälter (denn dieser ist der Weg durch den Hahn H_1 in der Röhre *Vv* verschlossen), sondern der *äufsern, atmosphärischen Luft,* indem gegen *diese* hin der Hahn H_1 offen ist. Ziehen nun hierauf die Triebräder vermittels der Kurbel den Cylinderkolben *zurück,* von der Rechten nach der Linken hin, so verschliefst das Gleitventil die Röhre 1 und öffnet die Röhre 2. Die Luft tritt jetzt aus dem *Freien* (nicht die zusammengeprefste Luft aus ihrem Behälter) in den Raum rechts vom Kolben und die links vom Kolben befindliche, vorhin eingetretene atmosphärische Luft wird durch *e* nicht ins Freie, sondern nun ihrerseits wieder in den *zweiten Behälter* getrieben u. s. w. Jeder Kolbengang *schöpft also einen Cylinder voll Luft aus der Atmosphäre* und treibt sie in den zweiten Behälter.

F. Dieser *zweite Behälter* ist demnach,

Drittens, ebenfalls eine Abweichung des Luftwagens vom Dampfwagen. Seine *Gröfse* wird dadurch bestimmt, dafs die Luft in ihm auf keine stärkere Spannung zusammengeprefst werden darf, als die bergabtreibende Kraft des Wagenzuges zu überwinden vermag.

G. Die in dem zweiten Behälter zusammengeprefste Luft dient zugleich von selbst und auf eine sehr angemessene Weise zur *Hemmung* der bergabrollenden Wagen und wird, wenn der zweite Behälter die gehörige, der Stärke und Länge des Abhanges, der Gröfse der Cylinder und dem Gewicht des Wagenzuges angemessene *Gröfse* und *Festigkeit* hat, dem Wagenzuge niemals gestatten, eine zu grofse *Geschwindigkeit* anzunehmen. Auch wird sich, streng genommen, der zweite Behälter so anordnen lassen, dafs der Wagenzug, am Fufse des Abhanges angelangt, wenn man will, *still stehen* mufs.

H. Viertens. Eine letzte Abweichung des Luftwagens vom Dampfwagen ist ein nothwendiger *dritter Behälter.*

Da nemlich die Luft in dem ersten grofsen Behälter offenbar *so stark* zusammengeprefst sein mufs, dafs ihre Spannung, auf die Kolben in den Cylindern wirkend, den Wagenzug den *stärksten Abhang* der Bahn, welcher vorkommt, *hinaufzutreiben* vermag, eine so starke Spannung aber *nicht immer* nöthig ist, sondern *nur* auf jenem *stärksten* Abhange, und auf weniger steilen, auf horizontalen und fallenden Stellen bei weitem *weniger* Kraft hinreicht, auf noch stärker fallenden Stellen *gar keine* Kraft und sogar ein *Überschufs* der von der Schwere hervorgebrachten bergabtreibenden Kraft entstehen kann: so mufs, nächst dem grofsen Behälter noch ein *anderer, kleinerer,* also ein *dritter* Behälter vorhanden sein, in welchen man mittels eines Hahnes immer nur *so viel* Luft aus dem grofsen Behälter zuläfst, als nöthig ist, um ihr gerade diejenige Spannung zu geben, die so eben die Triebkraft auf die Kolben verlangt. Aus diesem dritten (nicht unmittelbar aus dem grofsen Behälter) gelangt erst die gespannte Luft in die Cylinder.

I. Es ist hier streng genommen nicht einmal ein Barometer oder ein Manometer nöthig. So wie der Führer des Wagenzuges bemerkt, dafs derselbe zu langsam vorrückt, *öffnet* er den Hahn *H*, in der Röhre, durch welche die Luft aus dem grofsen in den *dritten* Behälter gelangt, ein *wenig mehr.* Beginnt die Geschwindigkeit der Fahrt zu stark zuzunehmen, so *verschliefst* er ihn ein *wenig mehr.* An Stellen angelangt, wo ein *Überschufs* an bergabtreibender Kraft bevorsteht, *verschliefst* er den Hahn *ganz* und dreht die oben beschrie-

benen Hähne H_1 und H_2 um einen rechten Winkel, damit jetzt das *Einpumpen* von äufserer Luft in den *zweiten Behälter* beginne. Gleiches thut er, wenn er etwa da, wo *kein* Überschufs an bergabtreibender Kraft nöthig ist, *hemmen* will. Diese Hemmung wirkt zwar nicht *plötzlich*, sondern ein etwa nothwendiges *plötzliches* Hemmen kann nur durch die *gewöhnlichen* Hemm-Vorrichtungen geschehen, wie es sich weiter unten näher zeigen wird, indessen wird das plötzliche Abschneiden der Triebkraft, nebst dem Beginn einer *entgegenwirkenden* Kraft, der Wirkung der gewöhnlichen Hemm-Vorrichtungen immer sehr zu Hülfe kommen.

K. Da das *Einpumpen* von Luft, also der Gebrauch des *zweiten* Behälters zum *Einpumpen* von Luft, immer nur beim Anfange eines starken Abhanges, welcher *Überschufs* an Triebkraft liefert, beginnt, so hat die Luft im *dritten* Behälter, welche die Triebkraft für die Kolben *hergiebt*, wenn anders der Führer den Anfang des starken Abhanges *vorher* wohl berücksichtigt hat, nur noch die Spannung *der Atmosphäre;* eben wie im *zweiten* Behälter, in welchen jetzt Luft *eingepumpt* werden soll. Es können also auch die Räume des zweiten und dritten Behälters mittels einer Röhre und eines zu öffnenden Hahnes in *Verbindung* gesetzt werden, und es sind dann auf diese Weise der *zweite und dritte* Behälter *zusammen* nur so grofs nöthig, als es der zweite ohne den dritten allein sein müfste. Es könnte sogar, in der Rücksicht, dafs ein beginnender starker Abhang den *dritten* Behälter der Regel nach leer und also zu dem Dienst des *zweiten* Behälters vorbereitet finden mufs, statt des zweiten und dritten Behälters *nur ein* Behälter vorhanden sein: indessen sind zwei gesonderte Behälter besser als ein einzelner; nemlich, *Erstlich,* für den Fall, wo etwa der Führer nicht gehörig Acht gegeben hat, dafs der dritte Behälter *vor* dem Anfange des starken Abhanges geleert wurde; *Zweitens* für den Fall, wo auf dem starken Abhange *schneller gehemmt* werden soll, wozu ein *kleinerer* zweiter Behälter wirksamer ist, als der gröfsere Raum der beiden Behälter zusammen, und *Drittens* für den Fall, wo auf der Bahn mehrere *ungleich lange* starke Abhänge vorkommen, indem sich alsdann der *zweite* Behälter *allein* für die *kürzern* und der zweite mit dem *dritten* zusammen für die *längern* stärkern Abhänge benutzen läfst.

L. Der *erste grofse* Behälter für die zusammengeprefste Luft ist entweder eine zwischen den Schienen liegende, längsauslaufende Röhre, aus welcher der Luftwagen nach No. IV. die Luft schöpft, und zwar zunächst in

20

den *dritten* Behälter sie aufnimmt: oder er steht nach No. V. auf dem Luftwagen selbst.

Um die Gröfse der Behälter, ihre Stärke und die Spannung der Luft angeben zu können, müssen wir die Wirkung dieser Spannung auf das Forttreiben des Wagenzuges in Maafs und Zahl untersuchen.

b. Berechnung der Wirkung der Spannung der Luft in einem Luftwagen von der ersten Art auf das Forttreiben des Wagenzuges, und umgekehrt.

34.

A. CC (Taf. VI. Fig. 18.) stelle einen der beiden Cylinder vor, xx den Kolben, K_1S_1 die Kolbenstange, S_1M die Bläuelstange, MZ den Kurbelarm.

Der Durchmesser CC_1 des Cylinders oder des Kolbens sei . . . . $= \Delta$;

Die Länge des Cylinders KK_4, die dem doppelten Kurbelarm gleich, also $= AD$ ist, sei $= \lambda = 2r$;

Die Spannung der Luft, welche im Cylinder auf den Kolben wirkt, ... $= 1 + \mu$ Atmosphären;

Der Durchmesser der Triebräder am Luftwagen sei . . . . $= D$;

Die Länge des vom Wagenzuge durchlaufenen Weges . . . . $= L$;

Die zum Forttreiben des Wagenzuges nöthige Zugkraft . . . . $= Z = Q(n + \text{tang}\,\beta)$ (103.);

Ferner sei die Länge der Bläuelstange $S_1M = a$ und

$$AP = x,\quad PM = y,\quad Pp = \partial x,\quad p_1p_2 = \partial y,\quad Ms = \partial s;$$

der Winkel $MS_1A = \varphi$, der Winkel $MZA = \alpha$;

Die Kraft, mit welcher die gespannte Luft auf den Kolben drückt, sei $= p$.

B. Die Kraft p bringt nach der Richtung S_1M eine Kraft $M_3M = p \sec\varphi$ hervor.

Diese Kraft gilt zwei andern Kräften, $M_1M = p\sec\varphi\cos\varphi = p$, *parallel* mit AZ, und $MM_2 = p\sec\varphi\sin\varphi = p\,\text{tang}\,\varphi$, *senkrecht* auf AZ, gleich.

Die erste Kraft M_1M gilt wieder zwei andern Kräften M_1M_4 und $M_4M = M_1M\sin\alpha = p\sin\alpha$ gleich, deren *erste*, in der Richtung MZ wirkend, *nicht*, sondern nur die *zweite* $M_4M = p\sin\alpha$, senkrecht auf den Kurbelarm MZ, in Betracht kommt.

Die zweite Kraft MM_2 gilt den beiden Kräften M_5M_2 und $M_5M = MM_2\cos\alpha = p\,\mathrm{tang}\,\varphi\cos\alpha$ gleich, von welchen wieder die *erste*, in der Richtung MZ wirkend, *nicht*, sondern nur die *zweite* $M_5M = p\,\mathrm{tang}\,\varphi\cos\alpha$, senkrecht auf den Kurbelarm MZ, in Betracht kommt.

Zusammen wird also der Kurbelarm von der Kraft

141. $M_4M + M_5M = p\sin\alpha + p\,\mathrm{tang}\,\varphi\cos\alpha = p(\sin\alpha + \mathrm{tang}\,\varphi\cos\alpha)$

umgedreht.

C. Da

$$142.\quad \begin{cases} 1.\quad \sin\alpha = \frac{y}{r} = \frac{Mm}{Ms} = \frac{\partial x}{\partial s}, \\ 2.\quad \cos\alpha = \frac{r-x}{r} = \frac{ms}{Ms} = \frac{\partial y}{\partial s} \quad \text{und} \\ 3.\quad \mathrm{tang}\,\varphi = \frac{MP}{S_1P} = \frac{y}{\sqrt{(a^2-y^2)}} \end{cases}$$

ist, so wird die Kraft (141.), welche durch q bezeichnet werden mag, auch durch

$$143.\quad q = p\left(\frac{\partial x}{\partial s} + \frac{y}{\sqrt{(a^2-y^2)}}\cdot\frac{\partial y}{\partial s}\right)$$

ausgedrückt.

D. Während die Luft im Cylinder den Kolben von K nach K_4 treibt, durchläuft die Kurbel den *obern* Halbkreis AMD und, wenn sie den Kolben von K_4 nach K hin bewegt, den *untern* Halbkreis DQA; und zwar das Eine und das Andere stets auf *ganz gleiche* Weise; nemlich so, dafs, was auch die Kraft p, die auf den Kolben in seinen verschiedenen Lagen K, K_1, K_2 u. s. w. wirkt, sein mag, *constant* oder *veränderlich*, dasjenige p, welches z. B. dem Puncte M entspricht, genau dem p, welches zu dem entgegengesetzten Puncte Q gehört, *gleich* ist; denn während der Kurbelarm den Winkel $AZM = \alpha$ durchlaufen hat, hat sich der Kolben *eben* so weit von K entfernt, als auf dem Rückwege von K_4, während dessen die Kurbel den *gleichen* Winkel DZQ beschrieb.

E. Durch den *obern* Halbkreis AMD *schiebt* die Bläuelstange die Kurbel in der Richtung S_1M: durch den *untern* Halbkreis DQA *zieht* sie ihn, in der Richtung QS_2.

Also haben die aus der Kraft p hervorgehenden Kräfte M_1M und QQ_1, die ihrem absoluten Werthe nach *gleich* sind, weil wegen $P_1Q = PM$ und $S_2Q = S_1M = a$ auch $P_1S_2Q = PS_1M = \varphi$ ist, immer das *gleiche Zeichen*, und folglich haben auch die daraus hervorgehenden, *senkrecht* auf die Kurbel wirkenden, dieselbe umdrehenden Kräfte M_4M und Q_4Q_1, die ebenfalls we-

gen $DZQ = AZM = \alpha$ ihrem absoluten Werthe nach *gleich* sind, *gleiche* Zeichen.

Hingegen die aus der Kraft p hervorgehenden Kräfte M_2M und QQ_2, die ihrem absoluten Werthe nach wiederum *gleich* sind, und folglich auch die daraus weiter hervorgehenden, senkrecht auf die Kurbel wirkenden, dieselbe umdrehenden, ihrem absoluten Werthe nach *gleichen* Kräfte M_5M und und QQ_5 haben *entgegengesetzte Zeichen.*

Es ist leicht zu sehen, dafs es sich für *alle entgegengesetzten* Lagen des Kurbelarms *gleichmäfsig* verhält. Z. B. in der Lage ZN der Kurbel sind die sie umdrehenden Kräfte N_1N_4 und N_2N_5: hingegen in der Lage ZR sind R_4R_1 und R_5R_2 diese Kräfte; und N_1N_4 und R_4R_1 haben *gleiche* und N_2N_5 und R_5R_2 haben *entgegengesetzte* Zeichen.

F. Daraus folgt, dafs, während die die Kurbel durch den *obern* Halbkreis treibende Kraft nach (143.)

$$144. \quad q_1 = p\left(\frac{\partial x}{\partial s} + \frac{y\,\partial y}{\partial s\sqrt{(a^2-y^2)}}\right)$$

ist, die Kraft, welche die Kurbel durch den *untern* Halbkreis treibt, immer, was auch p sein mag, durch

$$145. \quad q_2 = p\left(\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{y\,\partial y}{\partial s\sqrt{(a^2-y^2)}}\right)$$

ausgedrückt wird.

G. Nun treibt die Kraft p die Kurbel in dem Differential ∂t der Zeit t durch das Differential des Bogens ∂s: also ist das *Differential des Moments* der Kraft p:

146. 1. $\partial M_1 = q_1\partial s = p\,\partial x + \frac{py\,\partial y}{\sqrt{(a^2-y^2)}}$ für den *obern* Halbkreis und

2. $\partial M_2 = q_2\partial s = p\,\partial x - \frac{py\,\partial y}{\sqrt{(a^2-y^2)}}$ für den *untern* Halbkreis.

H. Die *Integrale* hievon geben das *Moment* der Kraft p für eine ganze Umdrehung der Kurbel. Man bezeichne

147. 1. Das Integral von $p\,\partial x$, für den Winkel $AZM = DZQ = \alpha$ genommen, durch A_1
und, für den Winkel $MZD = QZA = 2\varrho - \alpha$ genommen, durch A_2;

2. Das Integral von $\frac{py\,\partial y}{\sqrt{(a^2-y^2)}}$, für den Winkel $AZM = DZQ = \alpha$ genommen, durch B_1
und, für den Winkel $MZD = QZA = 2\varrho - \alpha$ genommen, durch B_2;

so ist für den Umlauf der Kurbel *von M an*, durch D, Q und A bis wieder nach M, das gesammte Integral

148. $M = A_2 + B_2 + A_1 - B_1 + A_2 - B_2 + A_1 + B_1 = 2(A_1 + A_2)$:

hingegen für den Umlauf der Kurbel *von A an*, durch M, D und Q, bis wieder nach A, ist das gesammte Integral

149. $M = A_1 + B_1 + A_2 + B_2 + A_1 - B_1 + A_2 - B_2 = 2(A_1 + A_2)$.

Eins ist dem Andern *gleich:* also folgt, dafs das Moment für einen *ganzen* Umlauf der Kurbel immer *dasselbe* ist, von *welchem Punct M* des Umfanges auch die Bewegung *anfangen* möge. Daraus folgt weiter, dafs das Moment für die *beiden* Kurbeln am Luftwagen für einen Hin- und Hergang des Kolbens im Cylinder *dasselbe* ist, wenn auch die Kurbeln an der Trieb-Achse *nicht in gleicher* Lage sondern, wie es in der Wirklichkeit der Fall ist, gegen einander in einem *rechten* Winkel befestigt sind.

I. Das obige $A_1 + A_2$ in (148. und 149.) ist nichts anders als das Integral von $p\partial x$ für den *ganzen Halbkreis AMD* genommen: also ist das Moment $M =$ dem Integral von $2p\partial x$, für den Halbkreis AMD genommen.

K. In dem gegenwärtigen Falle, wo die Luft während des *ganzen* Kolbenlaufs von *gleicher* Spannung in die Cylinder eingelassen werden soll, ist nun der Druck p auf die Kolben *constant;* denn er ist immer derselbe, an welcher Stelle K, K_1, K_2, ... der Kolben im Cylinder sich befinden möge. Also ist hier das Moment für einen Cylinder

150. $M = 2px + \text{Const.}$

Für $x = 0$ ist $M = 0$, also Const. $= 0$, und da das Integral für den ganzen Halbkreis AMD, also für $x = 2r = \lambda$ genommen werden soll, so ist

151. $M = 2p\lambda$.

L. Die Kolbenfläche ist $\frac{1}{4}\pi\Delta^2$, der Druck der Luft auf dieselbe also $\frac{1}{4}\pi\Delta^2(1+\mu)\sigma$. Diesem Drucke wirkt aber auf der andern Seite des Kolbens die Spannung der Atmosphäre $\frac{1}{4}\pi\Delta^2\sigma$ entgegen: also ist die *wirksame* Kraft auf einen Kolben

152. $p = \frac{1}{4}\pi\Delta^2\mu\sigma$.

Dies, in (151.) gesetzt, giebt $M = \frac{1}{2}\pi\Delta^2\lambda\mu\sigma$ für *einen* Cylinder, und also für die *beiden* Cylinder

153. $M = \pi\Delta^2\lambda\mu\sigma$.

M. Während eines Umlaufs der Kurbel rückt der Wagenzug um einen Umfang des Triebrades, also um πD fort. Folglich ist das *Moment der Zugkraft Z* gleich

$$154. \quad Z\pi D.$$

Dieses Moment mufs dem Moment M an der Kurbel *gleich sein.* Also ist

$$155. \quad Z\pi D = M = \pi\Delta^2\lambda\mu\sigma$$

und daraus folgt

$$156. \quad Z = Q(n + \text{tang}\,\beta) = \frac{\lambda\Delta^2\mu\sigma}{D};$$

welches die *Zugkraft* ist, die die in den Cylindern auf $1+\mu$ Atmosphären zusammengeprefste Luft auf den Wagenzug hervorbringt.

N. Zu bemerken ist, dafs, wie aus diesen Rechnungen hervorgeht, die Länge a der *Bläuelstange* auf das Resultat *keinen* Einflufs hat.

35.

A. Aus (156.) folgt

$$157. \quad \mu = \frac{QD}{\lambda\Delta^2\sigma}(n + \text{tang}\,\beta),$$

oder auch genauer

$$158. \quad \mu = \frac{QD}{\lambda\Delta^2\sigma}(n + \text{tang}\,\beta)\cos\beta.$$

Dieses giebt die der Luft in dem *ersten* grofsen Behälter nöthige *Spannung* $1+\mu$, wenn man für β die *stärkste* der auf der Bahn vorkommenden *Steigungen* β_m setzt.

B. Um den Weg L zurückzulegen, sind $\frac{L}{\pi D}$ Umläufe des Triebrades nöthig. Zu jedem Umlaufe gehören *vier* Cylinder voll *zusammengeprefster Luft:* denn bei *jedem* Rad-Umlauf bewegt sich *jeder* der *zwei* Kolben durch die ganze Länge des Cylinders einmal hin und einmal her. Der Inhalt *eines* Cylinders ist $\frac{1}{4}\pi\Delta^2\lambda$, also sind $4.\frac{1}{4}\pi\Delta^2\lambda = \pi\Delta^2\lambda$ auf die Spannung $1+\mu$ zusammengeprefste Luft nöthig, um den Wagenzug um den Weg πD fortzutreiben, mithin sind zu $\frac{L}{\pi D}$ Rad-Umläufe für die Wegestrecke L,

$$159. \quad \frac{L}{\pi D}.\pi\Delta^2\lambda = \frac{L\Delta^2\lambda}{D}$$

C. F. Luft von der Spannung $1+\mu$ nöthig.

Die *atmosphärische* Luft nimmt $1+\mu$ mal so viel Raum ein, als wenn sie auf die Spannung $1+\mu$ zusammengeprefst ist. Also sind zu der Wagenstrecke L,

$$160. \quad S = \frac{L\Delta^2\lambda}{D}(1+\mu) \text{ Cub. F. } \textit{atmosphärische} \text{ Luft}$$

nöthig. Hierin den Ausdruck von μ (157.) gesetzt, giebt

$$S = \frac{L\Delta^2\lambda}{D} + \frac{LQ}{\sigma}(n + \tang\beta)\cos\beta \text{ oder}$$

161. $$S = L\left[\frac{\Delta^2\lambda}{D} + \frac{Q}{\sigma}(n + \tang\beta)\cos\beta\right].$$

Da, wie in §. 28. bemerkt und nachgewiesen, $\cos\beta$ für jedes β, welches hier vorkommen kann, immer nur sehr wenig von 1 verschieden ist, so kann man statt (161.) füglich blofs setzen:

162. $$S = L\left[\frac{\Delta^2\lambda}{D} + \frac{Q}{\sigma}(n + \tang\beta)\right],$$

und dies um so sicherer, da man so für S nicht *zu wenig*, sondern etwas *zu viel* rechnet.

C. Dafs die Geschwindigkeit, welche die Wirkung der Luft auf die Kolben in den Cylindern dem Wagenzuge mittheilt, dessen Widerstand Z, so lange das Gefälle β der Bahn dasselbe bleibt, sich *nicht ändert*, nicht eben so veränderlich ist, wie die Momente der, zwar ebenfalls constanten, aber nach der verschiedenen Lage der Kurbelarme an stets *andern* Hebelsarmen wirkenden Kraft, ist Folge des *Beharrungsvermögens* der in Bewegung gesetzten sehr grofsen Massen, die hier die Stelle des sonst bei Kurbeln gewöhnlichen *Schwungrades* vertreten; und dies um so mehr, da die Arme der beiden Kurbeln für die zwei Cylinder am Wagen niemals in *gleicher* Lage sich befinden, niemals *beide zugleich* unwirksam sind, oder *beide zugleich* ihre *volle* Wirkung haben, sondern der eine gegen den andern in einen *rechten Winkel* gestellt ist, so dafs die eine Kurbel ihre *volle* Wirkung äufsert, wenn die andere *unwirksam* ist, und umgekehrt. So tritt hier ein Beharrungszustand ein, sobald nur die *Summe* der Momente der bewegenden Kraft für einen *ganzen* Rad-Umlauf, die immer dieselbe ist, von welcher Lage des Kurbelarms an sie auch gerechnet wird, dem Momente des Widerstandes gleich kommt; wie es oben in Rechnung gebracht wurde.

D. Wenn die Bahn vor dem Wagenzuge her *steigt*, so ist in (162.) β *positiv*, wenn sie *fällt*, *negativ*, wenn sie *horizontal* ist, *Null*. Bezeichnet man die Höhen-Unterschiede der Anfangs- und Endpuncte einer Bahnstrecke L_1, die ein *unveränderliches* Gefälle β_1 hat, durch h_1, so ist

163. $$h_1 = L_1 \tang\beta_1,$$

also kann in (162.) S auch durch

164. $$S = L_1\left(\frac{\Delta^2\lambda}{D} + \frac{nQ}{\sigma}\right) + h_1\frac{Q}{\sigma}$$

ausgedrückt werden. In diesem Ausdruck ist h_1 *positiv* zu nehmen, wenn die Bahn vor dem Wagenzuge her *steigt;* es ist $=0$, wenn die Bahn *horizontal* liegt, und *negativ,* wenn die Bahn *fällt;* letzteres jedoch *nur in so fern*

$$165. \quad \operatorname{tang}\beta > -n$$

ist.

E. Ist nemlich β negativ und $\operatorname{tang}\beta = -n$, so rollt der Wagenzug den Abhang, blofs von der *Schwere* getrieben, mit der unverminderten Geschwindigkeit hinab, die er am Anfange des Abhanges hatte. Es ist also offenbar für einen solchen Abhang *gar keine* Luft aus dem Behälter nöthig und es ist $S=0$ für $\operatorname{tang}\beta = -n$. Dafs die Formel (162.) dieses Resultat *nicht* giebt, kommt daher, dafs für sie vorausgesetzt wird, die Luft, welche in die Cylinder tritt, werde *immer* aus dem Behälter genommen, von welcher Spannung sie auch nöthig sein möge. Für den Abhang $\operatorname{tang}\beta = -n$ ist sie nur von der Spannung 1 nöthig, weil hier *kein Übergewicht* über den Gegendruck der atmosphärischen Luft erforderlich ist. Nähme man also die Luft, welche in die Cylinder tritt, auch in *diesem* Falle wirklich aus dem Behälter, wie es (162.) voraussetzt, so gäbe die Formel ganz richtig, dafs $L_1 \frac{\Delta^2 \lambda}{D}$ C. F. atmosphärische Luft aus dem Behälter gezogen werden müssen. Aber man wird natürlich hier die nur von der Spannung 1 nöthige Luft *nicht aus dem Behälter nehmen,* sondern aus der *Atmosphäre.* Man wird die Verbindung der Cylinder mit dem Luftbehälter *verschliefsen* und ihnen dagegen die Verbindung mit der atmosphärischen Luft öffnen. Also ist die Formel (162.) zwar an sich auch für den gegenwärtigen Fall richtig, aber gleichwohl ist hier nicht $S = L\frac{\Delta^2 \lambda}{D}$, sondern

$$166. \quad S = 0 \quad \text{für} \quad \operatorname{tang}\beta = -n \quad \text{oder} \quad \frac{h_1}{L_1} = -n.$$

F. Ist β *negativ und* $\operatorname{tang}\beta < -n$, so rollt der Wagenzug ebenfalls, blofs von der Kraft der Schwere getrieben, den Abhang hinunter, aber nun mit einem *Übergewicht* der Triebkraft, und es tritt der in (§. 33.) gedachte Fall ein, wo dem ersten grofsen Behälter nicht mehr Luft *entzogen,* sondern umgekehrt atmosphärische Luft in den *zweiten* kleinen Behälter *eingepumpt* wird. Und zwar werden bei jedem Umlauf des Triebrades, also auf die Wegelänge πD, *vier* Cylinder voll, mithin $\pi \Delta^2 \lambda$ Cub. F. und folglich auf die Wegelänge L_1

$$167. \quad S = \frac{L_1}{\pi D} \cdot \pi \Delta^2 \lambda = L_1 \frac{\Delta^2 \lambda}{D} \text{ C. F.}$$

atmosphärische Luft eingepumpt. Es ist also hier in diesem Fall nicht blofs $S=0$ für $\tang\beta=-n$ (165.), sondern

$$168.\quad S=-L_1\frac{\Delta^2\lambda}{D}\quad\text{für}\quad \tang\beta<-n$$

zu setzen, wenn man den Verbrauch von Luft aus dem grofsen Behälter für diejenige Bahnstrecke, auf welche $\tang\beta<-n$ ist, zu dem übrigen ansetzen will.

G. Die allgemeine Formel (164.) gilt *unverändert* nur für Bahnstrecken L_1, für welche $\tang\beta>-n$ ist, mögen sie vor dem Wagenzuge her *steigen* oder *fallen;* denn nur für diese wird die Luft aus dem grofsen Behälter gezogen. Für jede einzelne Länge giebt (164.) die für sie nöthige Luft aus dem *grofsen* Behälter. Bezeichnet man also die *Summe dieser* Längen durch L_1 und die *algebraische* Summe der zugehörigen positiven und negativen h_1 durch H_1, desgleichen den für sie zusammen nöthigen Luftbedarf durch S_1, so ist

$$169.\quad S_1=L_1\left(\frac{\Delta^2\lambda}{D}+\frac{nQ}{\sigma}\right)+H_1\frac{Q}{\sigma}.$$

Für diejenigen Strecken, auf welchen $\tang\beta=-n$ ist, und deren Gesammtlänge durch L_2 bezeichnet werden mag, ist der Bedarf an Luft aus dem grofsen Behälter

$$170.\quad S_2=0\quad(166.).$$

Für die Strecken endlich, auf welchen $\tang\beta<-n$ ist und deren Gesammtlänge L_3 sein mag, ist nach (168.) der Bedarf an Luft aus dem grofsen Behälter

$$171.\quad S_3=-L_3\frac{\Delta^2\lambda}{D}.$$

Der Gesammtbedarf an Luft aus dem grofsen Behälter, der $S=S_1+S_2+S_3$ sein mag, ist also aus (169. 170. und 171.)

$$172.\quad S=L_1\left(\frac{\Delta^2\lambda}{D}+\frac{nQ}{\sigma}\right)+H_1\frac{Q}{\sigma}-L_3\frac{\Delta^2\lambda}{D}.$$

Dieses giebt, wenn man die Länge der ganzen Eisenbahn

$$173.\quad L_1+L_2+L_3=L$$

setzt, so dafs $L_1=L-L_2-L_3$ ist,

$$S=(L-L_2-L_3)\left(\frac{\Delta^2\lambda}{D}+\frac{nQ}{\sigma}\right)+H_1\frac{Q}{\sigma}-L_3\frac{\Delta^2\lambda}{D}\quad\text{oder}$$

$$174.\quad S=(L-L_2-2L_3)\frac{\Delta^2\lambda}{D}+(L-L_2-L_3)\frac{nQ}{\sigma}+H_1\frac{Q}{\sigma}.$$

36.

Zu diesem Luftbedarf aus dem grofsen Behälter kommt noch derjenige hinzu, der nöthig ist, um die für die Fahrt verlangte *Geschwindigkeit beim Anfange der Bewegung hervorzubringen.*

A. Da diese Geschwindigkeit *so schnell als möglich* wird erzeugt werden sollen, so wird man dazu natürlich die *gröfste* Spannung der Luft anwenden, welche zu haben ist: also diejenige Spannung μ (158.), welche der Luft in dem grofsen Behälter gegeben werden mufs, um den *stärksten* auf der Bahn vorkommenden Abhang zu *ersteigen;* und zwar wird man diese *volle* Spannung im Anfange, nach (§. 29.), so lange *unvermindert* wirken lassen, bis die verlangte Geschwindigkeit erreicht ist.

B. Die perpendiculair auf den Kurbelarm wirkende Kraft, welche die Kurbel umdreht, wird nach (144. und 145.) durch

175. $$\begin{cases} 1.\ q_1 = p\left(\frac{\partial x}{\partial s} + \frac{y\,\partial y}{\partial s\sqrt{(a^2-y^2)}}\right) \text{ für den } \textit{obern} \text{ Halbkreis } AMD \text{ und durch} \\ 2.\ q_2 = p\left(\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{y\,\partial y}{\partial s\sqrt{(a^2-y^2)}}\right) \text{ für den } \textit{untern} \text{ Halbkreis } DQA \end{cases}$$

ausgedrückt. Zieht man von dieser Kraft diejenige *constante* Kraft $Z\frac{D}{2r} = Z\frac{D}{\lambda}$ ab, welche am Kurbelarm zur Hervorbringung der nöthigen Zugkraft Z oder zur blofsen Fortbringung des Wagenzuges Q mit *gleichförmiger* Geschwindigkeit, also im *Beharrungsstande* nöthig ist, so bleibt diejenige *überschüssige* Kraft am Kurbelarm, welche *Geschwindigkeit hervorbringt.* Es ist also, wenn man q_1 und q_2 diese *überschüssige* Kraft bezeichnen läfst, zu setzen:

176. $$\begin{cases} 1.\ q_1 = p\left(\frac{\partial x}{\partial s} + \frac{y\,\partial y}{\partial s\sqrt{(a^2-y^2)}}\right) - \frac{ZD}{\lambda} \text{ für den } \textit{obern} \text{ Halbkreis und} \\ 2.\ q_2 = p\left(\frac{\partial x}{\partial s} - \frac{y\,\partial y}{\partial s\sqrt{(a^2-y^2)}}\right) - \frac{ZD}{\lambda} \text{ für den } \textit{untern} \text{ Halbkreis.} \end{cases}$$

C. Diese *bewegende* Kraft wirkt auf die Masse Q und es ensteht daraus die *beschleunigende* Kraft $\frac{q}{Q}$. Dieselbe erzeugt in der Zeit ∂t die Geschwindigkeit

177. $$\partial v = 2g\frac{q}{Q}\partial t.$$

Mit der Geschwindigkeit v treibt sie das Ende des Kurbelarms, auf welches sie wirkt, in der Zeit ∂t durch den Raum

178. $$v\,\partial t = \partial s,$$

also ist

$$179. \quad \partial t = \frac{\partial s}{v},$$

und folglich in (177.) $\partial v = 2g\frac{q}{Q}.\frac{\partial s}{v}$ oder

$$180. \quad q\partial s = \frac{Q}{2g}v\partial v.$$

Hierin die Werthe von q_1 und q_2 aus (176.) gesetzt, giebt

$$181. \begin{cases} 1. \ p\left(\partial x + \frac{y\partial y}{\sqrt{(a^2-y^2)}}\right) - \frac{ZD}{\lambda}\partial s = \frac{Q}{2g}v\partial v \text{ für den } obern \text{ Halbkreis und} \\ 2. \ p\left(\partial x - \frac{y\partial y}{\sqrt{(a^2-y^2)}}\right) - \frac{ZD}{\lambda}\partial s = \frac{Q}{2g}v\partial v \text{ für den } untern \text{ Halbkreis;} \end{cases}$$

wovon das Integral, und zwar für m Umläufe der Kurbel oder der Triebräder zu nehmen ist, wenn man verlangt, dafs z. B. nach m Umläufen irgend eine verlangte Geschwindigkeit v hervorgebracht werden soll.

D. Das Integral von $p\partial x$ werde durch X und das Integral von $\frac{py\partial y}{\sqrt{(a^2-y^2)}}$ durch Y, dasjenige von $\frac{ZD}{\lambda}\partial s$ durch U bezeichnet, so ist

$$182. \begin{cases} 1. \quad X + Y - U = \frac{Q}{4g}v^2 + C \text{ für den } obern \text{ Halbkreis und} \\ 2. \quad X - Y - U = \frac{Q}{4g}v^2 + C \text{ für den } untern \text{ Halbkreis.} \end{cases}$$

Das Integral X sei $= X_0$ für $x = 0$, $= X_1$ für $x = AP$ und $= X_2$ für $x = AD$, so ist auch $X = X_0$ für den Punct D, $= X_1$ für $x = DP_1$ und $= X_2$ für $x = DA$. Das Integral Y sei $= Y_0$ für $x = 0$, $= Y_1$ für $x = AP$ und $= Y_2$ für $x = AD$, so ist, eben so, auch $Y = Y_0$ für den Punct D, $= Y_1$ für $x = DP_1$ und $= Y_2$ für $x = DA$. Ferner sei $U = U_0$ und $v = v_0$ für den Punct A, $U = U_1$ und $v = v_1$ für den Punct M, $U = U_2$ und $v = v_2$ für den Punct D, $U = U_3$ und $v = v_3$ für den Punct Q und $U = U_4$ und $v = v_4$ für den Punct A nach einem *ganzen* Umlauf der Kurbel.

α. Alsdann ist zunächst für die Bewegung von A bis M nach (182. 1.)

$$183. \quad X_0 + Y_0 - U_0 = \frac{Q}{4g}v_0^2 + C; \quad \text{also} \quad C = X_0 + Y_0 - U_0 - \frac{Q}{4g}v_0^2,$$

und folglich in (182. 1.) von A bis M,

$$184. \quad X_1 - X_0 + Y_1 - Y_0 - U_1 + U_0 = \frac{Q}{4g}(v_1^2 - v_0^2).$$

β. Für die Bewegung von M bis D ist nach (182. 1.)

185. $X_1 + Y_1 - U_1 = \frac{Q}{4g} v_1^2 + C,$ also $C = X_1 + Y_1 - U_1 - \frac{Q}{4g} v_1^2,$

und in (182. 1.) von M bis D,

186. $X_2 - X_1 + Y_2 - Y_1 - U_2 + U_1 = \frac{Q}{4g}(v_2^2 - v_1^2).$

γ. Für die Bewegung von D bis Q ist nach (182. 2.)

187. $X_0 - Y_0 - U_2 = \frac{Q}{4g} v_2^2 + C,$ also $C = X_0 - Y_0 - U_2 - \frac{Q}{4g} v_2^2,$

und in (182. 2.) von D bis Q,

188. $X_1 - X_0 - Y_1 + Y_0 - U_3 + U_2 = \frac{Q}{4g}(v_3^2 - v_2^2).$

δ. Für die Bewegung von Q bis A endlich ist nach (182. 2.)

189. $X_1 - Y_1 - U_3 = \frac{Q}{4g} v_3^2 + C,$ also $C = X_1 - Y_1 - U_3 - \frac{Q}{4g} v_3^2,$

und in (182. 2.) von Q bis A,

190. $X_2 - X_1 - Y_2 + Y_1 - U_4 + U_3 = \frac{Q}{4g}(v_4^2 - v_3^2).$

E. Nimmt man von (184. 186. 188. und 190.) die *Summe*, so ergiebt sich

191. $2(X_2 - X_0) - U_4 + U_0 = \frac{Q}{4g}(v_4^2 - v_0^2).$

192. Wäre nicht in A, M, D, Q und A sondern in M, D, Q und A und M
$v = v_0$ v_1 v_2 v_3 und v_4 $v = v_0$ v_1 v_2 v_2 und v_4

so hätte man statt (186. 188. 190. und 184.) folgende Ausdrücke gehabt:

193.
1. $X_2 - X_1 + Y_2 - Y_1 - U_2 + U_1 = \frac{Q}{4g}(v_1^2 - v_0^2),$
2. $X_1 - X_0 - Y_1 + Y_0 - U_1 + U_0 = \frac{Q}{4g}(v_2^2 - v_1^2),$
3. $X_2 - X_1 - Y_2 + Y_1 - U_3 + U_2 = \frac{Q}{4g}(v_3^2 - v_2^2)$ und
4. $X_1 - X_0 + Y_1 - Y_0 - U_4 + U_3 = \frac{Q}{4g}(v_4^2 - v_3^2),$

und hiervon ist die *Summe* ebenfalls

194. $2(X_2 - X_0) - U_4 + U_0 = \frac{Q}{4g}(v_4^2 - v_0^2);$

wie in (191.). Es hat also $\frac{Q}{4g}(v_4^2 - v_0^2)$ immer *denselben* Werth, von welchem Puncte des Umfanges auch die Bewegung anfangen mag, und daraus folgt, dafs die *beiden* unter rechten Winkeln stehenden Kurbeln während eines gan-

zen Umlaufs des Triebrades ***dieselbe*** Beschleunigung hervorbringen; so dafs man also die Kraft p ***eines einzelnen*** Cylinders als auf die ***halbe*** Masse $\frac{1}{2}Q$ wirkend betrachten kann und folglich p für die ***ganze*** Masse Q gleich der auf die ***beiden*** Kolben wirkenden Kraft setzen mufs.

F. Für den zweiten, so wie für ***jeden*** folgenden ferneren Umlauf der Kurbel haben X_2 und X_0 immer ***dieselben*** Werthe.

Bezeichnet man daher die Geschwindigkeit des Kurbelarm-Endes nach dem $m$ten Umlaufe durch $v_{m,4}$, so giebt (194.) der Reihe nach

$$195.\quad \begin{cases} 2(X_2-X_0)=\frac{Q}{4g}(v_4^2-v_0^2)+U_4-U_0, \\ 2(X_2-X_0)=\frac{Q}{4g}(v_8^2-v_4^2)+U_8-U_4, \\ 2(X_2-X_0)=\frac{Q}{4g}(v_{12}^2-v_4^2)+U_{12}-U_8, \\ \dots\dots\dots\dots\dots\dots \\ 2(X_2-X_0)=\frac{Q}{4g}v_{m,4}^2-v_{m-1,4}^2)+U_{m,4}-U_{m-1,4} \end{cases}$$

und, von diesen m Ausdrücken die Summe genommen, giebt

$$196.\quad 2m(X_2-X_0)=\frac{Q}{4g}(v_{m,4}-v_0^2)+U_{m-4}-U_0,$$

und wenn man von dem Anfang der Bewegung oder von der Ruhe anrechnet, $v_0=0$ setzt und für die Geschwindigkeit am Ende des $m$ten Umlaufs blofs v schreibt

$$197.\quad 2m(X_2-X_0)=\frac{Qv^2}{4g}+U_{m,4}-U_0.$$

G. Es war $\partial U=+\frac{ZD}{\lambda}\partial s$ (*D.*), also ist

$$198.\quad U=+\frac{ZD}{\lambda}.s.$$

Für den Punct D ist $s=0$, also $U_0=0$. Nach m Umläufen der Kurbel ist $s=m\pi\lambda$, also ist $U_{m,4}=+m\pi\lambda.\frac{ZD}{\lambda}=m\pi ZD$ und folglich giebt (197.)

$$199.\quad 2m(X_2-X_0)-m\pi ZD=\frac{Qv^2}{4g}.$$

H. Die Geschwindigkeit v ist die des ***Kurbelarm-Endes.*** Bezeichnet man die zu derselben gehörende Geschwindigkeit des ***Triebrad-Umfanges*** durch c, so ist

$$200.\quad c=v\frac{D}{\lambda} \quad \text{und} \quad v=c\frac{\lambda}{D}.$$

Und bezeichnet man die Länge der Bahnstrecke, welche durch die m Umläufe der Kurbel und folglich des Triebrades zurückgelegt wird, durch L, so ist

$$201.\quad L = m\pi D \quad \text{also} \quad m = \frac{L}{\pi D}.$$

Dieses in (199.) gesetzt, giebt $\frac{2L}{\pi D}(X_2 - X_0 - \frac{1}{2}\pi ZD) = \frac{Q}{4g}c^2\frac{\lambda^2}{D^2}$ oder

$$202.\quad \frac{2LD}{\pi\lambda^2 Q}(X_2 - X_0 - \frac{1}{2}\pi ZD = \frac{c^2}{4g} = H_2,$$

wenn H_2 die zu der Geschwindigkeit c gehörige *freie Fallhöhe* ist.

Dieser Ausdruck der Geschwindigkeit c, welche in m Umläufen der Triebräder durch den Druck p der Luft auf einen der Cylinderkolben von der Ruhe an hervorgebracht wird, *gilt allgemein, was auch p sein mag, constant oder veränderlich.*

I. Hier in dem gegenwärtigen Falle ist p durch den ganzen Kolbenlauf *constant*, und zwar ist die auf *beide* Kolben wirkende Kraft

$$203.\quad p = \frac{1}{4}\pi\Delta^2\mu\sigma \quad (152),$$

also ist hier das Integral X von $p\partial x$ (182.) $= \frac{1}{2}\pi\Delta^2\mu\sigma\partial x$,

$$204.\quad X = \frac{1}{2}\pi\Delta^2\mu\sigma x$$

und folglich

$$205.\quad X_0 = 0 \quad \text{für} \quad x = 0 \quad \text{und} \quad X_2 = \frac{1}{2}\pi\Delta^2\lambda\mu\sigma \quad \text{für} \quad x = AD = \lambda.$$

Demnach giebt hier der Ausdruck (202.)

$$206.\quad \frac{2LD}{\pi\lambda^2 Q}(\frac{1}{2}\pi\Delta^2\lambda\mu\sigma - \frac{1}{2}\pi ZD) = \frac{LD}{\lambda^2 Q}(\Delta^2\lambda\mu\sigma - ZD) = \frac{c^2}{4g} = H_2.$$

K. Bei jedem Rad-Umlauf werden 4 Cylinder voll Luft verbraucht, also $4.\frac{1}{4}\pi\Delta^2\lambda = \pi\Delta^2\lambda$ Cub. F. Luft von der Spannung $1+\mu$ oder $(1+\mu)\pi\Delta^2\lambda$ Cub. F. *atmosphärische* Luft; bei $m = \frac{L}{\pi D}$ (200.) Umläufen also, auf die Länge L,

$$207.\quad S_4 = \frac{L}{\pi D}(1+\mu)\pi\Delta^2\lambda = \frac{L\Delta^2\lambda}{D}(1+\mu) \text{ Cub. F. atmosphärische Luft.}$$

Aus (206.) folgt

$$208.\quad L = \frac{c^2}{4g}\cdot\frac{\lambda^2 Q}{D(\Delta^2\lambda\mu\sigma - ZD)}$$

und dies, in (207.) gesetzt, giebt

$$209.\quad S_4 = \frac{c^2}{4g}\cdot\frac{\Delta^2\lambda^3 Q(1+\mu)}{D^2(\Delta^2\lambda\mu\sigma - ZD)} \text{ C. F. atmosphärische Luft.}$$

L. Es bedeutet hier Z die Zugkraft, welche gerade an der *Stelle* der Bahn nöthig ist, wo die Geschwindigkeit c hervorgebracht werden soll, und μ ist die Spannung der Luft für die *stärkste* Zugkraft. Bezeichnet man diese letztere zum Unterschiede durch

$$210. \quad Z_m = Q(n + \text{tang}\,\beta_m),$$

während an der Stelle, wo die Geschwindigkeit hervorzubringen ist,

$$211. \quad Z = Q(n + \text{tang}\,\beta)$$

ist, so ist für Z_m aus (155.)

$$212. \quad Z_m D = \Delta^2 \lambda \mu \sigma,$$

was

$$213. \quad \mu = \frac{Z_m D}{\Delta^2 \lambda \sigma}$$

giebt. Dieses in (209.) gesetzt, giebt

$$214. \quad S_4 = \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{\Delta^2 \lambda^2 Q\left(1 + \frac{Z_m D}{\Delta^2 \lambda \sigma}\right)}{D^2 (Z_m - Z)} = \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{\lambda^2 Q(\Delta^2 \lambda \sigma + Z_m D)}{D^2 \sigma (Z_m - Z)}$$

oder, die Werthe von Z_m und Z aus (210. und 211.) gesetzt,

$$215. \quad S_4 = \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{\lambda^2 (\Delta^2 \lambda \sigma + QD(n + \text{tang}\,\beta_m))}{D^2 \sigma (\text{tang}\,\beta_m - \text{tang}\,\beta)}$$

$$= \frac{H_2}{\text{tang}\,\beta_m - \text{tang}\,\beta} \left[\Delta^2 \frac{\lambda}{D} + \frac{Q}{\sigma}(n + \text{tang}\,\beta_m)\right] \frac{\lambda^2}{D^2}.$$

Dieses ist die noch zur Hervorbringung der der freien Fallhöhe H_2 entsprechenden Geschwindigkeit c nöthige Masse atmosphärischer Luft.

M. Auch hier hat die Länge a der *Bläuelstange*, wie man sieht, auf das Resultat keinen Einfluſs.

N. Regelt der Führer des Wagenzuges die Zulassung der Luft aus dem groſsen Behälter genau so, daſs die Geschwindigkeit der Bewegung *nicht abnimmt,* selbst bei dem *Einpumpen* nicht, wo es vorkommt, so ist für die ganze Fahrt keine weitere Zulage zu dem Luftbedarf nöthig, als die S_4 (215.). Aber auch wenn der Führer die Geschwindigkeit abnehmen läſst, entsteht wegen der Wiederhervorbringung der vollen Geschwindigkeit im allgemeinen noch kein Mehrbedarf an Luft: denn eben so viel Kraft als zur Wiederhervorbringung der Geschwindigkeit nothwendig ist, ist durch die Verminderung der eigentlich nöthigen Kraft, welche die Abnahme der Geschwindigkeit zur Folge hatte, erspart worden. *Streng genommen* ist sogar überhaupt wegen der zur ersten Hervorbringung der Geschwindigkeit nöthigen Luftmasse eigentlich *kein*

Zuschufs zu der blofs für die Zugkraft nöthigen Luftmasse nothwendig: denn am *Schlufs* der Fahrt würde, wenn man dort die Geschwindigkeit allmälig bis zu Null abnehmen liefse, wieder eben so viel erspart werden, als am Anfange der Fahrt zur Hervorbringung der Geschwindigkeit nöthig war; inzwischen ist darauf in der Praxis nicht zu rechnen, und es kann sogar noch mehrere Ausnahmen geben, nemlich wenn *gehemmt* werden mufs; was sich aber nur schätzen, nicht mit einiger Sicherheit berechnen läfst. Für alle Fälle setzen wir hier die zur Hervorbringung der verlangten Geschwindigkeit nöthige Luftmasse ganz als *Zuschufs* an.

37.

A. Der Luftbedarf S_4 (215.) zur Hervorbringung der Geschwindigkeit c mufs nun noch in (174.) hinzugethan werden und dies giebt

216. $$S = (L - L_2 - 2L_3)\frac{\Delta^2\lambda}{D} + [(L - L_2 - L_3)n + H_1]\frac{Q}{\sigma} + \frac{H_2}{\operatorname{tang}\beta_m - \operatorname{tang}\beta}\cdot\frac{\lambda^2}{D^2}\left(\Delta^2\cdot\frac{\lambda}{D} + \frac{Q}{\sigma}(n + \operatorname{tang}\beta_m)\right)$$

C. F. *atmosphärische* Luft, welche nöthig ist, den Wagenzug vom Gewicht Q durch die Länge von L Fufs einer Eisenbahn zu treiben.

217.
- L ist die Länge der ganzen Bahn;
- L_2 ist die Gesammtlänge der Strecken, in welchen $\operatorname{tang}\beta = -n$ ist:
- L_3 ist die Gesammtlänge der Strecken, in welchen $\operatorname{tang}\beta < -n$ ist;
- H_1 ist die *algebraische* Summe des Steigens und Fallens der Strecken, in welchen $\operatorname{tang}\beta > -n$ ist;
- H_2 ist die freie Fallhöhe $\frac{c^2}{4g}$, welche die verlangte Geschwindigkeit c der Fahrt hervorbringt;
- n ist $= \frac{1}{280}$ (128.), $\sigma = 1980$ (15.) $= 18.110$;
- Δ ist der Durchmesser der Cylinder, λ ihre Länge, D der Durchmesser der Triebräder.
- β_m ist die *stärkste* Steigung der Bahn, β der Abhang am Anfange, nemlich an der Stelle, wo die Geschwindigkeit c hervorgebracht werden soll.

B. Es läfst sich auch S (226.) wie folgt noch auf eine andere Art ausdrücken. Es ist nemlich aus (156.)

218. $$\frac{\Delta^2\lambda}{D} = \frac{Q}{\sigma\mu_m}(n + \operatorname{tang}\beta_m).$$

Dies und den Werth von S_4, in der Gestalt (209.), in (216.) gesetzt, giebt

$$219. \quad S = \left[(L - L_2 - 2L_3)\frac{n + \operatorname{tang}\beta_m}{\mu_m} + (L - L_2 - L_3)n + H_1\right]\frac{Q}{\sigma} + H_2\frac{\Delta^2\lambda^2 Q(1+\mu_m)}{D^2(\Delta^2\lambda\mu_m\sigma - ZD)}.$$

Hieraus folgt, dafs der Bedarf an Luft im allgemeinen um so *kleiner* ist, je *stärker* man die Spannung μ in den Behältern angenommen hat; und aus (216.) folgt, dafs der Luftbedarf um so kleiner ist, je kleiner die Cylinder und je gröfser die Triebräder sind.

C. Zu bemerken ist noch, dafs man für die Ausübung einen *Überschufs* an Luftvorrath ansetzen mufs, *für unvorhergesehene Fälle;* z. B. nicht blofs, wenn öfter gehemmt werden *mufs,* sondern auch um gelegentlich eine noch etwas stärkere Fracht fortzubringen. Wir setzen 10 pr. C. an. *Verloren* geht dieser Überschufs nicht immer, sondern bleibt, wenn er nicht gebraucht wird, für die folgende Fahrt in dem Behälter.

D. Beispiel. Ich will ein solches an einer wirklichen Eisenbahn nehmen, und zwar an der *zwischen Berlin und Potsdam,* die mir am genausten bekannt ist, weil ich selbst sie entworfen und gebaut habe.

Diese Eisenbahn ist 7000 R. = 84000 F. lang, also ist für sie $L = 84000$. Es kommt auf ihr nirgend ein Abhang vor, der stärker wäre als $n = \frac{1}{250}$. Der *stärkste* Abhang ist 1 auf 300, also ist $\operatorname{tang}\beta_m = \frac{1}{300}$ und L_2 und L_3 sind Null. Die Anfänge der Bahn sind horizontal, so dafs $\beta = 0$ ist. Der Endpunct bei Potsdam liegt 7 F. höher als der Anfangspunct bei Berlin, mithin ist für die Fahrt von Berlin nach Potsdam $H_1 = +7$ und für die Fahrt von Potsdam nach Berlin $H_1 = -7$.

Nehmen wir nur einen Luftwagen an, in welchem der Durchmesser der Cylinder 9 Zoll, die Länge der Cylinder 12 Zoll, der Durchmesser des Triebrades 5 F. ist, so ist $\Delta = \frac{3}{4}$, $\lambda = 1$, $D = 5$. Es werde gesetzt, dieser Luftwagen solle 1800 Ctr., sein eigenes Gewicht eingeschlossen, mit einer Geschwindigkeit von 6 Meilen in der Stunde oder 40 F. in der Secunde fortzuschaffen vermögen; was für Ausnahmefälle zu rechnen sein wird, wenn gleich die gewöhnliche Geschwindigkeit nur etwa $4\frac{1}{2}$ Meilen in der Stunde beträgt. Alsdann ist

$$Q = 1800.110 \quad \text{und} \quad c = 40, \quad \text{also} \quad H_2 = \frac{c^2}{4g} = \frac{40.40}{4.15\frac{5}{8}} = 24\frac{1}{3}.$$

Dieses zusammengenommen giebt zunächst nach (157.)

$$220. \quad \mu_m = \frac{1800.110.5}{18.100.1.\frac{3}{4}.\frac{3}{4}}\left(\frac{1}{250} + \frac{1}{300}\right) = 6\frac{14}{27}.$$

Die Luft würde also hier in dem grofsen Behälter bis auf $6\frac{11}{27}$ Atmosphären wirksamer Spannung zusammengeprefst werden müssen. Sodann ist nach (219.)

$$221.\quad S = \left[84000.\frac{\frac{1}{250}+\frac{1}{300}}{6\frac{11}{27}} + 84000.\tfrac{1}{250} \pm 7\right]\frac{1800.110}{18.110}$$

$$+ 24\tfrac{4}{5}.\frac{\frac{3}{4}.\frac{3}{4}.1800.110.7\frac{11}{27}}{5.5(\frac{3}{4}.\frac{3}{4}.1.18.110.6\frac{11}{27} - 5.\frac{1}{250}.1800.110)}.$$

Dieses giebt

222. { 1. 43952 C. F. atmosphärische Luft für die Fahrt von Berlin nach Potsdam und
2. 42552 C. F. für die Fahrt von Potsdam nach Berlin.

c. Von den vortheilhaftesten Gefällen der Bahn für Luftwagen von der *ersten* Art.

38.

Da für Gefälle $\tang\beta = -n$ *keine* Luft beim Hinabfahren aus dem Behälter nöthig ist und für Gefälle $\tang\beta < -n$ sogar durch den Überschufs an Triebkraft noch Luft in den Behälter eingepumpt wird, während der Behälter für *alle andern, schwächern* Gefälle auch zum *Hinabfahren* Luft herzugeben hat, so entsteht hier die Frage, ob nicht, die *Hin- und Rückfahrt* wie gehörig *zusammen* in Anschlag gebracht, unter diesen oder jenen Umständen *stärkere* Gefälle sogar besser sein können, als *schwächere:* denn, wenn z. B. ein Gefälle *schwächer* ist als n, so wird bei der Bergabfahrt sowohl, als bei der Berganfahrt, Luft aus dem Behälter gezogen: dagegen, wenn das Gefälle *stärker* als n ist, nur bei der *Berganfahrt,* während man bei der Hinabfahrt sogar noch Luft gewinnt. Desgleichen entsteht die Frage, ob es nicht besser sei, an einer Anhöhe, statt sie mit *gleichförmigem* Gefälle zu ersteigen, der Bahn auf einen Theil der Länge einen *schwächern* und dem Rest einen *stärkern* Abhang zu geben u. s. w. Dieses ist zu untersuchen, und zwar allgemein für die verschiedenen Umstände, die vorkommen können.

Die auf die Länge L mit dem Abhange $\tang\beta$ zu ersteigende Höhe sei wie oben $= h$. ***Der Kürze wegen wollen wir blofs β statt $\tang\beta$ schreiben,*** so dafs also

$$223.\quad L\beta = h$$

ist. Ist die Länge L für zwei verschiedene Gefälle β_1 und β_2 in zwei Theile L_1 und L_2 getheilt, so sei eben so

$$224.\quad L_1\beta_1 = h_1 \quad\text{und}\quad L_2\beta_2 = h_2.$$

Es ist alsdann

225. $L\beta = L_1\beta_1 + L_2\beta_2 = h = h_1 + h_2$ und

226. $L = L_1 + L_2$.

Ferner sei das Gewicht des Wagenzuges auf der *Hinfahrt* Q_1 und auf der *Rückfahrt* Q_2 und der Kürze wegen

227. $\frac{Q_1}{\sigma} = k_1$ und $\frac{Q_2}{\sigma} = k_2$, desgleichen in (169. 170. und 171.)

228. $\frac{\Delta^2 \lambda}{D} = \eta$.

Der *Luftbedarf* auf der *Hinfahrt* sei für die ganze Strecke L, mit *unveränderlichem* Gefälle β, gleich A, auf der *Rückfahrt* B, und eben so für die einzelnen Strecken L_1 und L_2 gleich A_1, B_1 und A_2, B_2. Ferner sei

229. $A + B = C$ und

230. $A_1 + B_1 = C_1$, $A_2 + B_2 = C_2$, desgleichen

231. $C - (C_1 + C_2) = \Sigma$;

wo dann Σ ausdrückt, was etwa für das *gleichförmige* Gefälle p an Luft mehr oder weniger nöthig sein mag, als für die *verschiedenen* Gefälle β_1 und β_2 der getheilten Strecke.

39.

Wir betrachten zuerst den Fall, wo die Höhe h mit dem *unveränderlichen* Gefälle β zu ersteigen ist.

A. Das Gefälle β ist immer positiv und kann 0, $< n$, n und $> n$ sein. Für diese vier verschiedenen Fälle ist

232.
1. $A = L(\eta + nk_1)$ (169.) und $B = L(\eta + nk_2)$ (169.) für β oder $h = 0$;
2. $A = L(\eta + nk_1) + L\beta k_1$ (169.) und $B = L(\eta + nk_2) - L\beta k_2$ für $\beta < n$;
3. $A = L(\eta + nk_1) + Lnk_1$ (169.) und $B = 0$ (170.) für $\beta = n$;
4. $A = L(\eta + nk_1) + L\beta k_1$ (169.) und $B = -L\eta$ für $\beta > n$.

Der gesammte Luftbedarf $A + B = C$ (229.) ist also in diesen vier verschiedenen Fällen

233.
1. $C = (L 2\eta + n(k_1 + k_2))$ für $\beta = 0$;
2. $C = L(2\eta + n(k_1 + k_2) + \beta(k_1 - k_2))$ für $\beta < n$;
3. $C = L(\eta + 2nk_1)$ für $\beta = n$;
4. $C = Lk_1(n + \beta)$ für $\beta > n$.

B. Sind die Ladungen Q bei der Hin- und Rückfahrt *gleich schwer*, so dafs

$$234. \quad k_1 = k_2 = k$$

ist, so ist in (233.)

$$235. \quad \begin{cases} 1. \quad C = 2L(\eta + nk) & \text{für} \quad \beta = 0; \\ 2. \quad C = 2L(\eta + nk) & \text{für} \quad \beta < n; \\ 3. \quad C = L(\eta + 2nk) & \text{für} \quad \beta = n; \\ 4. \quad C = Lk(n + \beta) & \text{für} \quad \beta > n. \end{cases}$$

C. Gehen etwa nur bergan *beladene,* bergab blofs *leere* Wagen, die in der Regel ein *Drittheil* des Gewichts der beladenen haben, so dafs

$$236. \quad k_2 = \tfrac{1}{3}k.$$

ist, so ist in (233.)

$$237. \quad \begin{cases} 1. \quad C = L(2\eta + \tfrac{4}{3}nk_1) & \text{für} \quad \beta = 0; \\ 2. \quad C = L(2\eta + \tfrac{2}{3}(2n + \beta)k_1) & \text{für} \quad \beta < n; \\ 3. \quad C = L(\eta + 2nk) & \text{für} \quad \beta = n; \\ 4. \quad C = Lk_1(n + \beta) & \text{für} \quad \beta > n. \end{cases}$$

D. Aus diesen Formeln ergeben sich schon merkwürdige Folgerungen. Zum Beispiel aus (235.), für den Fall, wo die Rückfracht der Hinfracht *gleich* ist, welcher meistens Statt finden wird, folgt, dafs der Luftbedarf ganz *derselbe* ist, die Bahn mag *horizontal* liegen, oder um weniger als $n = \frac{1}{250} = 0{,}004$ *steigen.* Ferner, dafs der Luftbedarf sogar um $L\eta$ *geringer* ist, wenn die Bahn *gerade 1 auf 250 steigt,* als wenn sie *horizontal* liegt. Endlich folgt aus (235. 1. und 4.), wenn man Eins dem Andern *gleich* setzt, $2(\eta + nk) = k(n + \beta)$, also

$$238. \quad \beta = \frac{2\eta + nk}{k} = n + \frac{2\eta}{k},$$

so dafs die Bahn sogar noch um $\frac{2\eta}{k}$ *mehr* als $\frac{1}{250}$ steigen kann, ohne dafs der Luftbedarf gröfser wäre, als für eine *horizontale* Bahn.

Es ist also hier für den Luftwagen gar nicht nöthig, dafs man etwa durch tiefe Einschnitte in Anhöhen sehr schwache Gefälle zu erzielen suche; sondern das Gefälle 1 auf 250 ist sogar *vortheilhafter,* als ein schwächeres, selbst als die *horizontale* Lage; und sogar das Gefälle $n + \frac{2\eta}{k}$ erfordert noch nicht mehr Kraft, als letztere. Diese Umstände können sehr bedeutende Ersparungen an den Kosten des *Bahndammes* zur Folge haben.

E. Wir wollen eine Bahn von 4000 F. lang zum Beispiele nehmen. Die Ladung Q sei 1800 Ctr. $= 1800 . 110$ Pfd. Für den Luftwagen setze man $\Delta = \frac{1}{4}$, $\lambda = 1$ und $D = 5$ F. Dann ist für die obigen Ausdrücke

239. $L = 4000,\quad Q = 1800.110,\quad \frac{Q}{\sigma} = k = \frac{1800.110}{18.110}(15.) = 100,$

$$\eta = \frac{3.3.1}{4.4.5} = \tfrac{9}{80} = 0{,}1125, \qquad n = 0{,}004$$

und (235. und 237.) geben folgenden Luftbedarf für die Hin- und Rückfahrt

		Wenn Hin- und Rückfracht gleich sind.	Wenn nur leere Wagen bergab fahren.	
240.	1.	$C = 4100$ C. F.,	$= 3033\frac{1}{3}$ C. F.	wenn die Bahn *horizontal* liegt,
	2.	$C = 4100$ C. F.,	$= 3922\frac{2}{3}$ C. F.	wenn sie etwa 1 auf 300 *steigt,*
	3.	$C = 3650$ C. F.,	$= 3650$ C. F.	wenn sie gerade 1 auf 250 *steigt,*
	4.	$C = 4100$ C. F.,	$= 4100$ C. F.	wenn sie $\frac{1}{250} + \frac{9}{40.100} = 1$ auf 160 *steigt.*

Also, wenn die Bahn das ansehnliche Gefälle von 1 auf 160 hat, ist in dem Falle, wo Hin- und Rückfracht gleich sind, noch *nicht mehr* Kraft nöthig, als wenn sie *horizontal* liegt, so dafs eine Anhöhe von $\frac{4000}{160} = 25$ F. hoch *gar keines* Einschnittes bedarf. Und wenn man die Bahn 1 auf 250 steigen läfst, so sind sogar $4100 - 3650 = 450$ C. F. Luft oder etwa 11 pr. C. *weniger* nöthig, als für die *horizontale* Lage; auch erspart man an diesem Luftbedarf noch, wenn man in eine $\frac{4000}{250} = 16$ F. hohe Anhöhe gar keinen Einschnitt oder in eine 25 F. hohe Anhöhe den Einschnitt statt 25 F. nur 9 F. tief macht.

40.

Wir kommen zu der zweiten Frage, ob und in wie fern es besser sei, eine Anhöhe mit einem *unveränderlichen* Gefälle, oder mit *zwei verschiedenen* Gefällen zu ersteigen.

A. Die *erste* Strecke L_1 wird man niemals *stärker* steigen lassen wollen, als die *ganze* Strecke L steigen müfste, weil sonst in der Regel nicht *weniger,* sondern *mehr Damm-Arbeit* nöthig sein würde. Die *zweite* Strecke L_2 mufs also nothwendig *immer* steigen, und zwar um *mehr* als β; und folglich ist β_2 *immer* > 0. Dagegen β_1, obgleich immer $< \beta$, kann sowohl positiv als negativ sein, denn man kann die erste Strecke auch *fallen* lassen. Je nachdem also β selbst, $= 0$ oder $< n$ oder $= n$ oder $> n$ ist, können zusammen folgende Fälle Statt finden.

I. Für $\beta = 0$ und

	Für $\beta_2 > 0 < n$.	Für $\beta_2 = n$.	Für $\beta_2 > n$.
241.	1. $\beta_1 < 0 > -n$;	4. $\beta_1 < 0 > -n$;	7. $\beta_1 < 0 > -n$;
	2. $\beta_1 = -n$;	5. $\beta_1 = -n$;	8. $\beta_1 = -n$;
	3. $\beta_1 < -n$.	6. $\beta_1 < -n$.	9. $\beta_1 < -n$.

II. Für $\beta > 0 < n$ und

	Für $\beta_2 > 0 < n$.	Für $\beta_2 = n$.	Für $\beta_2 > n$.
242.	10. $\beta_1 > 0 < n$;	15. $\beta_1 > 0 < n$;	20. $\beta_1 > 0 < n$;
	11. $\beta_1 = 0$;	16. $\beta_1 = 0$;	21. $\beta_1 = 0$;
	12. $\beta_1 < 0 > -n$;	17. $\beta_1 < 0 > -n$;	22. $\beta_1 < 0 > -n$;
	13. $\beta_1 = -n$;	18. $\beta_1 = -n$;	23. $\beta_1 = -n$;
	14. $\beta_1 < -n$.	19. $\beta_1 < -n$.	24. $\beta_1 < -n$.

III. Für $\beta = n$ und

Für $\beta_2 > n$.

243.
25. $\beta_1 > 0 < n$;
26. $\beta_1 = 0$;
27. $\beta_1 < 0 > -n$;
28. $\beta_1 = -n$;
29. $\beta_1 < -n$.

IV. Für $\beta > n$ und

Für $\beta_2 > n$.

244.
30. $\beta_1 > n$;
31. $\beta_1 = n$;
32. $\beta_1 > 0 < n$;
33. $\beta_1 = 0$;
34. $\beta_1 < 0 > -n$;
35. $\beta_1 = -n$;
36. $\beta_1 < -n$.

B. Für β_2 kommen also nur 3, für β_1 dagegen 7 verschiedene Fälle vor. Für die 3 verschiedenen Fälle von β_2 passen *ganz* die Formeln (233. 2. 3. 4.), indem β_2, eben wie β, *immer positiv* ist; nur ist hier L_2 statt L und β_2 statt β zu setzen: also ist für die Hin- und Rückfahrt auf der *zweiten* Strecke L_2:

245.
1. $C_2 = L_2(2\eta + n(k_1 + k_2) + \beta_2(k_1 - k_2))$ für $\beta_2 > 0 < n$,
2. $C_2 = L_2(\eta + 2nk_1)$ für $\beta_2 = n$ und
3. $C_2 = L_2k_1(n + \beta_2)$ für $\beta_2 > n$.

Für die 7 verschiedenen Fälle von β_1 ergeben sich die Werthe von C_1 ebenfalls aus (233.), wenn man nur beobachtet, dafs es, falls die erste Strecke *fällt,* zwar für die Hin- und Rückfracht *zusammen* eben so ist, als wenn sie um gleichviel *stiege;* jedoch mit dem Unterschiede, dafs, wenn man die Strecke als *steigend* statt *fallend* betrachtet, die *Rückfracht* an die Stelle der *Hinfracht* gesetzt und dem β das entgegengesetzte Zeichen gegeben werden mufs. Diesemnach ist

$$246. \begin{cases} 1. & C_1 = L_1 k_1(n+\beta_1) \text{ . . . . für } \beta_1 > n; \\ 2. & C_1 = L_1(\eta+2nk_1) \text{ . . . . für } \beta_1 = n; \\ 3. & C_1 = L_1(2\eta+n(k_1+k_2)+\beta_1(k_1-k_2)) \text{ für } \beta_1 > 0 < n; \\ 4. & C_1 = L_1(2\eta+n(k_1+k_2)) \text{ . . . . . für } \beta_1 = 0; \\ 5. & C_1 = L_1(2\eta+n(k_1+k_2)+\beta_1(k_1-k_2)) \text{ für } \beta_1 < 0 > -n; \\ 6. & C_1 = L_1(\eta+2nk_2) \text{ . . . . für } \beta_1 = -n; \\ 7. & C_1 = L_1 k_2(n-\beta_1) \text{ . . . . für } \beta_1 < -n. \end{cases}$$

Hienach kann man nun für die obigen Fälle C_1 und C_2 und, von den zugehörigen C (233.) abgezogen, Σ (231.) finden. Da sich indessen schon in §. (39.) gezeigt hat, dafs die *vortheilhaftesten* Fälle die sind, wo die Bahn *gerade um n,* oder um *mehr als n* steigt oder fällt, so wollen wir, um den Raum zu sparen, nur einige von denjenigen Fällen berücksichtigen, wo für die verschiedenen β, die Gefälle β_1 und β_2 entweder gerade $= \pm n$ oder $> n$ oder $< -n$ sind und zwar die Fälle 5, 6, 9, 18, 28 und 31.

C. Zuvor sind aber noch die Bedingungen zu suchen, welche für *bestimmte* β, β_1 und β_2 zwischen L, L_1 und L_2 Statt finden. Dieselben finden sich aus (225. und 226.). Es giebt nemlich (225.) vermöge (226.)

$$247. \quad L\beta = L_1\beta_1 + (L-L_1)\beta_2 \quad \text{und} \quad L\beta = (L-L_2)\beta_1 + L_2\beta_2,$$

und daraus folgt

$$248. \quad L_1 = L\frac{\beta_2-\beta}{\beta_2-\beta_1} \quad \text{und} \quad L_2 = L\frac{\beta-\beta_1}{\beta_2-\beta_1}.$$

D. a. Fall No. 5., wo $\beta = 0$, $\beta_1 = -n$, $\beta_2 = +n$ *ist.*

Hier ist

$$249. \begin{cases} 1. & C = L(2\eta+n(k_1+k_2)) \quad (233.\ 1.), \\ 2. & C_1 = L_1(\eta+2nk_2) \quad (246.\ 6.) \text{ und} \\ 3. & C_2 = L_2(\eta+2nk_1) \quad (245.\ 2.), \text{ also in (231.)} \end{cases}$$

$\Sigma = 2L\eta - (L_1+L_2)\eta + Ln(k_1+k_2) - 2n(L_1k_2+L_2k_1)$ oder vermöge (226.)

$\Sigma = L\eta + Ln(k_1+k_2) - 2n(L_1k_2+L_2k_1)$

oder, weil hier in (248.) $L_1 = L\frac{n}{n+n} = \frac{1}{2}L$ und $L_2 = L\frac{n}{2n} = \frac{1}{2}L$ ist,

$$250. \quad \Sigma = L\eta.$$

Man erspart also $L\eta$, in dem obigen Beispiel (§. 39. *E.*) $4000 \cdot \frac{9}{80} =$ 450 C. F. Luft, wenn man die Bahn, statt sie *horizontal* zu legen, auf die *halbe* Länge um $n = 1$ auf 250 *fallen* und auf die andere halbe Länge wieder um eben so viel *steigen* läfst.

b. Fall No. 6., wo $\beta = 0$, $\beta_1 < -n$, $\beta_2 = +n$ ist.

Hier ist

$$251. \quad \begin{cases} 1. \quad C = L(2\eta + n(k_1 + k_2)) \ (233.\ 1.), \\ 2. \quad C_1 = L_1 k_2 (n - \beta_1) \ (246.\ 7.), \\ 3. \quad C_2 = L_2(\eta + 2nk_1) \ (245.\ 2.), \text{ also in } (231.) \end{cases}$$

$$\Sigma = 2L\eta + Lnk_1 + Lnk_2 - L_1nk_2 + L_1\beta_1k_2 - L_2\eta - 2L_2nk_1 \text{ oder}$$
$$\Sigma = \eta(2L - L_2) + (L - 2L_2)nk_1 + (L_2n + L_1\beta_1)k_2,$$

oder, weil hier $L_1 = L\frac{n}{n-\beta_1}$ und $L_2 = L.\frac{\beta_1}{n-\beta_1}$ ist,

$$\Sigma = L\eta\Big(2 + \frac{\beta_1}{n-\beta_1}\Big) + L\Big(1 + \frac{2\beta_1}{n-\beta_1}\Big)nk_1 + L\Big(\frac{-n\beta_1}{n-\beta_1} + \frac{n\beta_1}{n-\beta_1}\Big)k_2 \text{ oder}$$

$$252. \quad \Sigma = \frac{L}{n-\beta_1}[\eta(2n - \beta_1) + n((n + \beta_1)k_1)].$$

Bringt man diesen Ausdruck auf die Form

$$\Sigma = \frac{L}{n-\beta_1}[\eta n + \eta(n - \beta_1) - n(n - \beta_1)k_1 + 2n^2k] \quad \text{oder}$$

$$253. \quad \Sigma = L\Big[\frac{\eta n + 2n^2k_1}{n-\beta_1} + \eta - nk_1\Big] = L\Big[n.\frac{\eta + 2nk_1}{n-\beta_1} + \eta - nk_1\Big],$$

so zeigt sich, dafs Σ *um so gröfser* ist, je kleiner $n - \beta_1$, also je *kleiner* der absolute Werth des negativen β_1 ist. Man mufs daher β_1 nur so wenig als möglich $< -n$ annehmen. Setzt man für das obige Beispiel $\beta_1 = -0{,}005$, so ergiebt sich für $k_1 = 100$,

$$254. \quad \begin{cases} \Sigma = 4000\Big[0{,}004\frac{0{,}1125 + 0{,}8}{0{,}009} + 0{,}1125 - 0{,}004.100\Big] = 470 \text{ C. F. und} \\ L_1 = 4000.\frac{0{,}004}{0{,}009} = 1777\tfrac{7}{9} \text{ F.}, \quad L_2 = 4000\frac{0{,}005}{0{,}009} = 2222\tfrac{2}{9} \text{ F.} \end{cases}$$

Man spart also 470 C. F. Luft, wenn man die Bahn, statt sie auf 4000 F. lang horizontal zu legen, auf $1777\frac{7}{9}$ F. erst 0,005 oder 1 auf 200 fallen und dann die übrigen $2222\frac{2}{9}$ F. lang 1 auf 250 wieder steigen läfst; also noch etwas mehr, als wenn man sie auf die erste halbe Länge um 1 auf 250 fallen und auf die zweite Hälfte wieder eben so viel steigen läfst.

c. Fall No. 9., wo $\beta = 0$, $\beta_1 < -n$ und $\beta_2 > n$ ist.

Hier ist

$$255. \quad \begin{cases} 1. \quad C = L(2\eta + n(k_1 + k_2)) \ (233.\ 1.), \\ 2. \quad C_1 = L_1 k_2 (n - \beta_1) \ (246.\ 7.), \\ 3. \quad C_2 = L_2 k_1 (n + \beta_2) \ (245.\ 3.), \text{ also in } (231.). \end{cases}$$

$$\Sigma = 2\eta L + Lnk_1 + Lnk_2 - L_1 n k_2 + L_1\beta_1 k_2 - L_2 n k_1 - L_2\beta_2 k_1 \quad \text{oder}$$
$$\Sigma = 2\eta L + L_1 n k_1 + L_2 n k_2 + L_1\beta_1 k_2 - L_2\beta_2 k_1$$

oder, weil hier $L_1 = L.\frac{\beta_2}{\beta_2-\beta_1}$ und $L_2 = L.\frac{-\beta}{\beta_2-\beta_1}$ ist,

256. $$\Sigma = \frac{L}{\beta_2-\beta_1}[2\eta(\beta_2-\beta_1) + nk_1\beta_2 - \beta_1(nk_2 - \beta_2(k_1+k_2))].$$

Bringt man diesen Ausdruck auf die Form

$$\Sigma = \frac{L}{\beta_2-\beta_1}[nk_1\beta_2 + (2\eta + nk_2 - \beta_2(k_1+k_2))(\beta_2-\beta_1) - \beta_2(nk_2 - \beta_2(k_1+k_2))]$$

oder

257. $$\Sigma = L\left[\beta_2.\frac{n(k_1-k_2)+\beta_2(k_1+k_2)}{\beta_2-\beta_1} + 2\eta + nk_2 - \beta_2(k_1+k_2)\right],$$

so zeigt sich zuerst, daſs Σ für jeden bestimmten Werth von β_2 um so gröſser ist, je kleiner der absolute Werth des negativen β_1 ist. Man muſs also β_1 nur wenig kleiner als n annehmen. Bringt man (256.) auf die Form

$$\Sigma = \frac{L}{\beta_2-\beta_1}[(2\eta + nk_1 + \beta_1(k_1+k_2))(\beta_2-\beta_1) + \beta_1(nk_1 + \beta_1(k_1+k_2)) - \beta_1 nk_2]$$

oder

258. $$\Sigma = L\left[\beta_1\frac{n(k_1-k_2)+\beta_1(k_1+k_2)}{\beta_2-\beta_1} + 2\eta + nk_1 + \beta_1(k_1+k_2)\right],$$

so zeigt sich eben so, daſs Σ für jeden bestimmten Werth von β_1 um so gröſser ist, je kleiner man das positive β_2 setzt. Man muſs also β_2 nur wenig gröſser als n annehmen.

Für $\beta_2 = 0{,}005$ und $\beta_1 = -0{,}005$, $k_1 = k_2 = 100$ und $L = 4000$ giebt (256.)

259. $$\Sigma = \frac{4000}{0{,}01}[2.0{,}1125.0{,}01 + (2.0{,}008.0{,}005 - 0{,}005^2.200)] = 500 \text{ C. F.},$$

also noch etwas mehr als im 5ten Falle $\beta = 0$, $\beta_1 = -n$ und $\beta_2 = +n$. Für $-\beta_1 = \beta_2 = 0{,}00045$ würde Σ sogar $= 700$ C. F. sein.

D. Fall No. 18., wo $\beta > 0 < n$, $\beta_1 = -n$ und $\beta_2 = n$ ist.

Hier ist

260. $$\begin{cases} 1. & C = L2(\eta + n(k_1+k_2) + \beta(k_1-k_2)) \quad (233.\ 2.), \\ 2. & C_1 = L_1(\eta + 2nk_2) \quad (246.\ 6.), \\ 3. & C_2 = L_2(\eta + 2nk_1) \quad (245.\ 2.), \text{ also} \end{cases}$$

$$\Sigma = L\eta + Ln(k_1+k_2) + L\beta(k_1-k_2) - 2n(L_1k_2 + L_2k_1)$$

oder, da hier $L_1 = L.\frac{n-\beta}{2n}$ und $L_2 = L.\frac{\beta+n}{2n}$ ist,

$$\Sigma = L(\eta + n(k_1 + k_2) + \beta(k_1 - k_2)) - ((n-\beta)k_2 + (n+\beta)k_1) \quad \text{oder}$$

261. $\Sigma = L\eta;$

ganz wie im 5ten Falle.

Ist z. B. $\beta = 0{,}003$, so ist $L_1 = L.\frac{0{,}001}{0{,}008} = \frac{1}{8}L$ und $L_2 = \frac{7}{8}L$. Wenn man also die 4000 F. lange Bahn, statt sie durchweg mit dem Gefälle 0,003 oder 1 auf 333⅓ steigen zu lassen, erst auf 500 F. lang 1 auf 250 fallen und dann auf 3500 F. lang eben so stark steigen läfst, so erspart man $L\eta =$ 450 C. F. Luft.

e. Fall No. 28., wo $\beta = n$, $\beta_1 = -n$, $\beta_2 > n$ ist.

Hier ist

262. $\begin{cases} 1. \quad C = L(\eta + 2nk_1) \ (233.\ 3.), \\ 2. \quad C_1 = L_1(\eta + 2nk_2) \ (246.\ 6.), \\ 3. \quad C_2 = L_2 k_1 (n + \beta_2) \ (245.\ 3.), \text{ also in (231.)} \end{cases}$

$$\Sigma = L(\eta + 2nk_1) - L_1(\eta + 2nk_2) - L_2 k_1 (n + \beta_2)$$

oder, da hier $L_1 = L.\frac{\beta_2 - n}{\beta_2 + n}$ und $L_2 = L.\frac{n+n}{\beta_2 - n}$ ist,

$$\Sigma = L\left(\eta + 2nk_1 - \frac{(\beta_2 - n)(\eta + 2nk_2) + 2nk_1(n+\beta_2)}{n+\beta_2}\right) \quad \text{oder}$$

$$\Sigma = \frac{L}{n+\beta_2}[\eta(n+\beta_2) + (n-\beta_2)((\eta + 2nk_2)] \quad \text{oder}$$

263. $\Sigma = \frac{2nL}{n+\beta_2}[\eta - k_2(\beta_2 - n)] = 2nL\left[\frac{\eta + 2nk_2}{n+\beta_2} - k_2\right];$

woraus folgt, dafs man wieder k_2 so klein annehmen mufs als möglich.

Für $\beta_2 = 0{,}005$, $k_2 = 100$, $L = 4000$ ist

264. $\Sigma = \frac{2.0{,}004.4000}{0{,}009}[0{,}1125 - 100.0{,}001] = 44\frac{4}{9}$ C. F.

Hier wird also nur wenig gewonnen.

f. Fall No. 31., wo $\beta > n$, $\beta_1 = +n$, $\beta_2 > n$ ist.

Hier ist

265. $\begin{cases} 1. \quad C = Lk_1(n + \beta) \ (233.\ 4.), \\ 2. \quad C_1 = L_1(\eta + 2nk_1) \ (246.\ 2.), \\ 3. \quad C_2 = L_2 k_1(n + \beta_2) \ (245.\ 3.), \text{ also in (231.)} \end{cases}$

$$\Sigma = Lk_1(n+\beta) - L_1(\eta + 2nk_1) - L_2 k_1 (n + \beta_2)$$

oder, da hier $L_1 = L.\frac{\beta_2 - \beta}{\beta_2 - n}$ und $L_2 = L.\frac{\beta - n}{\beta_2 - n}$ ist,

$$\Sigma = L\left[k_1(n+\beta) - \frac{(\beta_2-\beta)(\eta+2nk_1)+(\beta-n)(n+\beta_2)k_1}{\beta_2-n}\right] \text{ oder}$$

$$\Sigma = L\left[k_1(n+\beta)-(\eta+2nk_1) - \frac{n-\beta}{\beta_2-n}(\eta+2nk_1)+\frac{(n-\beta)(n+\beta_2)k_1}{\beta_2-n}\right] \text{ oder}$$

$$\Sigma = L\left[k_1(\beta-n)-\eta-\frac{n-\beta}{\beta_2-n}(\eta+(n-\beta_2)k_1)\right] \text{ oder}$$

266. $$\Sigma = L\eta\left[\frac{\beta-n}{\beta_2-n}-1\right].$$

Da β_2 immer gröfser sein mufs als β, so ist Σ immer *negativ* und folglich hier kein Vortheil.

E. Im Allgemeinen findet sich, dafs es, wenn eine Bahn *stärker* als $n=1$ auf 250 *steigen* mufs, am besten ist, das Gefälle unverändert beizubehalten (Fall 31.). Mufs sie *grade* 1 auf 250 steigen, so läfst sich nur wenig sparen, wenn man die Bahn erst auf einen Theil der Länge um 1 auf 250 oder mehr fallen und dann den Rest um so stärker steigen läfst (Fall 28.). Kann dagegen die Bahn nur schwache Gefälle haben, oder selbst horizontal liegen, so gewinnt man *bedeutend,* wenn man sie erst fallen und dann wieder steigen läfst. Die Ersparung am Luftbedarf kann 11 und selbst, wie im 9ten Falle, 17 und noch mehrere Procente betragen.

d. Wirkungen des Einpumpens der Luft auf starken Abhängen auf das Hemmen bei Luftwagen erster Art.

41.

Wenn in dem Fall, wo die Schwere auf starken Abhängen den Wagenzug mit einem *Überschufs* an Kraft bergab treibt, *während* der Fahrt nach der Beschreibung (§. 33. *C.* etc.) Luft in einen kleinen verschlossenen, auf dem Luftwagen befindlichen Behälter *eingepumpt* wird, so wird dadurch die Luft in diesem Behälter allmälig *verdichtet* und wirkt also den Kolben in den Cylindern allmälig stärker *entgegen:* denn nicht die Kolben treiben jetzt den Wagenzug fort, sondern dieser treibt umgekehrt die Kolben in den Cylindern hin und her. Die in dem kleinen Behälter zusammengeprefste Luft *hemmt* also die Bewegung des von der Schwere mit einem Überschufs an Kraft bergab getriebenen Wagenzuges.

Dieses läfst sich benutzen, entweder um die Geschwindigkeit der Wagen beim Bergabrollen etwa so zu *mäfsigen,* dafs sie, am Fufse eines Abhanges angelangt, keine gröfsere Geschwindigkeit haben, als mit welcher sie ihre Bewegung am Gipfel begannen; oder auch zum *Hemmen überhaupt;*

selbst beim *Berganfahren:* denn man darf nur nach (§. 33. *E.*) den Zutritt der *zusammengeprefsten* Luft aus dem grofsen Behälter in die Cylinder durch Umdrehung des Hahnes H_1 abschneiden, während derselbe Hahn zugleich der *äufsern* Luft den Zutritt in die Cylinder öffnet, und dagegen durch den Hahn H_2 der Luft aus den Cylindern den Austritt nach dem kleinen Hemmbehälter öffnen, während wiederum eben dieser Hahn der Luft zugleich den Austritt ins Freie verschliefst: so wird sogleich die forttreibende Kraft in eine hemmende verwandelt und folglich die verlangte Wirkung hervorgebracht. Auch läfst sich, wie leicht zu sehen, zum Hemmbehälter allenfalls einer der Cylinder selbst, die zusammen den grofsen Behälter bilden, benutzen; und zwar zum *schnellen Hemmen* einer von denen, in welchen die Luft noch die *volle* Spannung hat. Dieser Cylinder müfste dann stärker sein als die übrigen.

42.

A. Es ist, um diese Wirkung zu schätzen, der allgemeine Ausdruck der *Geschwindigkeit* nöthig, welche der Wagenzug von seiner anfänglichen Geschwindigkeit noch übrig behält, nachdem das Einpumpen der Luft auf eine gewisse Länge des Laufs, oder auf eine gewisse Zahl von Umdrehungen der Triebräder fortgewährt hat. Aus diesem Ausdruck, in welchem die Gröfse des Hemmbehälters und der durchlaufene Raum vorkommen mufs, wird sich die Gröfse des Behälters und der durchlaufene Raum finden lassen, wenn etwa umgekehrt die Geschwindigkeit, die übrig bleiben soll, gegeben ist.

B. Die Aufgabe ist für die Rechnung *dieselbe,* wie in (§. 36.), wo aus dem Druck der zusammengeprefsten Luft auf die Kolben die durch denselben nach einem gewissen durchlaufenen Raume *hervorgebrachte* Geschwindigkeit gesucht wurde: nur mit dem Unterschiede, dafs hier der Druck der Luft im *Hemm*behälter nicht die Kolben *treibt,* sondern der Zugkraft *entgegen* wirkt, also mit dem *entgegengesetzten Zeichen* genommen werden mufs. Es ist deshalb, statt wie in (199.), hier für den *ersten* Umlauf der Kurbel

$$267. \quad -2(X_2 - X_0) - \pi ZD = \frac{Q}{4g}(v_1^2 - v_0^2)$$

zu setzen, wenn v_0 die *anfängliche* Geschwindigkeit des Kurbelarm-Endes, v_1 die Endgeschwindigkeit desselben nach dem *ersten* Umlaufe, X das Integral von $p\partial x$, X_0 der Werth dieses Integrals im Puncte A (Fig. 18.), X_2 der Werth desselben im Puncte D, und p den Druck der Luft im Hemmbehälter auf die *zwei* Kolben bezeichnet. Für die folgenden Umläufe *ändern* sich X und v.

C. Der Druck der Luft p auf die Kolben ist hier *nicht* wie in (§. 36.) constant, sondern *nimmt fortwährend zu,* so wie mehr und mehr Luft in den Hemmbehälter eingepumpt wird. Man bezeichne

268. Durch B den Raum-Inhalt des Hemmbehälters

und es befinde sich am *Anfange* der Bewegung $(1+\nu)B$ Cub. F. atmosphärische Luft in demselben. Bei jeder Umdrehung der Kurbel oder der Triebräder durchläuft jeder der beiden Kolben den Weg 2λ und treibt also $4\lambda.\frac{1}{4}\pi\Delta^2 = \pi\Delta^2\lambda$, mithin in m_1 Umläufen $m_1\pi\Delta^2\lambda$ C. F. Luft in den Behälter. Nach m_1 Umläufen befinden sich daher $(1+\nu)B+m_1\pi\Delta^2\lambda$ C. F. Luft in demselben.

D. Bewegen sich jetzt weiter, nach m_1 Umläufen, die Kurbeln noch durch den *Winkel* α, also das Ende A der einen von A nach M (Fig. 18.), das Ende der andern von E nach N (KZN sei ein *rechter* Winkel), so bewegt sich, wie leicht zu sehen, der Anfangspunct S der einen Bläuelstange, also der eine Kolben, durch den Raum

269. $$u_1 = AP + a(1-\cos\varphi_1) = x + a - a\cos\varphi_1,$$

der andere durch den Raum

270. $$u_2 = ZO + a(\cos\varphi_2 - \cos\varphi_3) = y + a\cos\varphi_2 - a\cos\varphi_3,$$

wenn φ_1, φ_2 und φ_3 die den Puncten M, E und N entsprechenden Werthe des Winkels φ sind. Da nun für diese Winkel

271. $a\sin\varphi_1 = y,\quad a\sin\varphi_2 = r$ und $a\sin\varphi_3 = NO = PZ = k - x$, also

272. $a\cos\varphi_1 = \sqrt{(a^2-y^2)},\quad a\cos\varphi_2 = \sqrt{(a^2-r^2)},\quad a\cos\varphi_3 = \sqrt{(a^2-(r-x)^2)}$

ist, so ist

273. $$\begin{cases} 1. & u_1 = x + a - \sqrt{(a^2-y^2)}, \\ 2. & u_2 = y + \sqrt{(a^2-r^2)} - \sqrt{(a^2-(r-x)^2)}. \end{cases}$$

Von dem einen Kolben wird noch $\frac{1}{4}\pi\Delta^2 u_1$, von dem andern $\frac{1}{4}\pi\Delta^2 u_2$ C. F. Luft in den Behälter B eingepumpt, also befinden sich in demselben, nachdem die Kurbel m_1 Umläufe gemacht und dann noch den Winkel α durchlaufen hat, zusammen

274. $$(1+\nu)B + m_1\pi\Delta^2\lambda + \tfrac{1}{4}\pi\Delta^2(u_1+u_2) = (1+\nu)B + \tfrac{1}{4}\pi\Delta^2(4m_1\lambda + u_1 + u_2)$$

Cub. F. atmosphärische Luft.

E. Diese Luft ist in den Raum B zusammengeprefst, also ist ihre Spannung $\frac{(1+\nu)B+\frac{1}{4}\pi\Delta^2(4m_1\lambda+u_1+u_2)}{B} = 1+\nu+\frac{\pi\Delta^2}{4B}(4m_1\lambda+u_1+u_2)$, und da die Spannung 1 der äufsern Luft dieser Spannung *entgegenwirkt,* so ist die auf die beiden Kolben drückende Spannung $\nu+\frac{\pi\Delta^2}{4B}(4m_1\lambda+u_1+u_2)$, und mithin der Druck p auf die Kolben, deren Fläche $\frac{1}{4}\pi\Delta^2$ ist,

275. $p = \frac{\pi^2 \Delta^4 \sigma}{8B}(4m_1\lambda + u_1 + u_2) + \frac{1}{2}\nu\pi\Delta^2\sigma.$

Nun ist

276. $p\partial x = \partial X,$

also ist vermöge (275. 276. und 273.)

277. $\partial X =$

$\frac{\pi^2\Delta^4\sigma}{8B}[4m_1\lambda + a + x - \sqrt{(a^2-y^2)} + y + \sqrt{(a^2-r^2)} - \sqrt{(a^2-(r-x)^2)}]\partial x + \frac{1}{2}\nu\pi\Delta^2\sigma\partial x.$

Für den ersten Umlauf ist $m_1 = 0$, für den zweiten $m_1 = 1$, für den dritten $m_1 = 2$ u. s. w.

F. a. Das Integral von $(4m_1\lambda + a + x + \sqrt{(a^2-r^2)})\partial x$ in (277.) ist

278. $= (4m_1\lambda + a + \frac{1}{2}x + \sqrt{(a^2-r^2)})x.$

b. Das Integral von $y\partial x$ in (277.) ist der Kreis-Abschnitt AMP, also

279. $= \frac{1}{2}r^2 \arcsin\frac{y}{r} - \frac{1}{2}(r-x)y = \frac{1}{2}r^2 \arcsin\frac{\sqrt{(2rx-x^2)}}{r} - \frac{1}{2}(r-x)\sqrt{(2rx-x^2)}.$

c. Für das Differential $\sqrt{(a^2-y^2)}\partial x$ ist $y^2 = 2rx - x^2$, also $y\partial y = (r-x)\partial x = \sqrt{(r^2-y^2)}\partial x$ und $\partial x = \frac{y\partial y}{\sqrt{(r^2-y^2)}}$, folglich

280. $\sqrt{(a^2-y^2)}\partial x = y\partial y\sqrt{\left(\frac{a^2-y^2}{r^2-y^2}\right)}.$

Setzt man $\frac{a^2-y^2}{r^2-y^2} = z^2$, so ist $y^2 = \frac{r^2z^2-a^2}{z^2-1}$, also

$$y\partial y = \frac{r^2z\partial z}{z^2-1} - \frac{r^2z^2-a^2}{(z^2-1)^2}z\partial z = \frac{a^2-r^2}{(z^2-1)^2}z\partial z \text{ und}$$

281. $\sqrt{(a^2-y^2)}\partial x = (a^2-r^2)\frac{z^2\partial z}{(z^2-1)^2}$

und, in vier einzelne Brüche zerlegt,

282. $\frac{4\sqrt{(a^2-y^2)}\partial x}{a^2-r^2} = -\frac{z^2\partial z}{z-1} + \frac{z^2\partial z}{(z-1)^2} + \frac{z^2\partial z}{z+1} + \frac{z^2\partial z}{(z+1)^2}$

$$= \frac{(2-z)z^2\partial z}{(z-1)^2} + \frac{(2+z)z^2\partial z}{(z+1)^2}.$$

Hierin $z - 1 = z_1$ und $z + 1 = z_2$ gesetzt, giebt

$$\frac{4\sqrt{(a^2-y^2)}\partial x}{a^2-r^2} = \frac{(1-z_1)(z_1+1)^2\partial z_1}{z_1^2} + \frac{(1+z_2)(z_2-1)^2\partial z_2}{z_2^2} \text{ oder}$$

$$\frac{4\sqrt{(a^2-y^2)}\partial x}{a^2-r^2} = \frac{(z_1^2+2z_1+1-z_1^3-2z_1^2-z_1)\partial z_1}{z_1^2} + \frac{(z_2^2-2z_2+1+z_2^3-2z_2^2+z_2)\partial z_2}{z_2^2}$$

oder

283. $\frac{4\sqrt{(a^2-y^2)}\partial x}{a^2-r^2} = \left(-z_1 - 1 + \frac{1}{z_1} + \frac{1}{z_1^2}\right)\partial z + \left(z_2 - 1 - \frac{1}{z_2} + \frac{1}{z_2^2}\right)\partial z_2.$

Also ist das Integral von $\sqrt{(a^2-y^2)}\,\partial x$:

$$\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\left[-\tfrac{1}{2}z_1^2-z_1-\frac{1}{z_1}+\log z_1+\tfrac{1}{2}z_2^2-z_2-\frac{1}{z_2}-\log z_2\right] \quad \text{oder}$$

$$\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\left[-\tfrac{1}{2}(z-1)^2-z+1-\frac{1}{z-1}+\tfrac{1}{2}(z+1)^2-z-1-\frac{1}{z+1}+\log\frac{z-1}{z+1}\right]$$

oder

$$284. \quad \tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\left[\frac{-2z}{z^2-1}+\log\frac{z-1}{z+1}\right],$$

oder, da $z=\sqrt{\left(\frac{a^2-y^2}{r^2-y^2}\right)}$ und $z^2-1=\frac{a^2-y^2}{r^2-y^2}-1=\frac{a^2-r^2}{r^2-y^2}$ ist,

$$\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\left[\frac{-2\sqrt{(a^2-y^2)}}{\sqrt{(r^2-y^2)}}\cdot\frac{r^2-y^2}{a^2-r^2}+\log\frac{\sqrt{(a^2-y^2)}-\sqrt{(r^2-y^2)}}{\sqrt{(a^2-y^2)}+\sqrt{(r^2-y^2)}}\right] \quad \text{oder}$$

$$-\tfrac{1}{2}\sqrt{(a^2-y^2)}\sqrt{(r^2-y^2)}+\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\log\frac{\sqrt{(a^2-y^2)}-\sqrt{(r^2-y^2)}}{\sqrt{(a^2-y^2)}+\sqrt{(r^2-y^2)}},$$

oder auch, da $\sqrt{(r^2-y^2)}=r-x$ ist,

$$285. \quad -\tfrac{1}{2}(r-x)\sqrt{(a^2-2rx+x^2)}+\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\log\frac{\sqrt{(a^2-2rx+x^2)}-(r-x)}{\sqrt{(a^2-2rx+x^2)}+(r-x)}.$$

d. Das Integral endlich von $-\sqrt{(a^2-(r-x)^2)}\,\partial x$ in (277.) ist der Abschnitt eines Kreises vom Halbmesser a für die Abscisse $r-x$ aus dem Mittelpunct, also

$$286. \quad = +\tfrac{1}{2}a^2\arcsin\frac{r-x}{a}+\tfrac{1}{2}(r-x)\sqrt{(a^2-(r-x)^2)}.$$

e. Zusammengenommen also ist das Integral von ∂X (277.) aus (278. 279. 285. und 286.)

$$287. \quad X=\frac{\pi^2\Delta^4\sigma}{8B}\Big[4m_1\lambda x+ax+\tfrac{1}{2}x^2+x\sqrt{(a^2-r^2)}+\tfrac{1}{2}r^2\arcsin\frac{\sqrt{(2rx-x^2)}}{r}$$
$$-\tfrac{1}{2}(r-x)\sqrt{(2rx-x^2)}+\tfrac{1}{2}(r-x)\sqrt{(a^2-2rx+x^2)}$$
$$-\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\log\frac{\sqrt{(a^2-2rx+x^2)}-(r-x)}{\sqrt{(a^2-2rx+x^2)}+(r-x)}+\tfrac{1}{2}a^2\arcsin\frac{r-x}{a}$$
$$+\tfrac{1}{2}(r-x)\sqrt{(a^2-(r-x)^2)}\Big]+\tfrac{1}{2}\nu\pi\Delta^2\sigma x.$$

Dieses giebt, $x=0$ gesetzt,

$$288. \quad X_0=\frac{\pi^2\Delta^4\sigma}{8B}\left[\tfrac{1}{2}ar-\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\log\frac{a-r}{a+r}+\tfrac{1}{2}a^2\arcsin\frac{r}{a}+\tfrac{1}{2}r\sqrt{(a^2-r^2)}\right]$$

und, $x=2r$ gesetzt,

$$289. \quad X_2=\frac{\pi^2\Delta^4\sigma}{8B}\Big[8m_1\lambda r+2ar+2r^2+2r\sqrt{(a^2-r^2)}+\tfrac{1}{2}r^2\pi-\tfrac{1}{2}ar$$
$$-\tfrac{1}{4}(a^2-r^2)\log\frac{a+r}{a-r}-\tfrac{1}{2}a^2\arcsin\frac{r}{a}-\tfrac{1}{2}r\sqrt{(a^2-r^2)}\Big]+\nu\pi\Delta^2\sigma r.$$

Also ist

$$290.\quad X_2 - X_0 = \frac{\pi^2 \Delta^4 \sigma}{8B}\Big[8m_1\lambda r + ar + 2r^2 + r\sqrt{(a^2-r^2)} + \tfrac{1}{2}r^2\pi - \tfrac{1}{2}(a^2-r^2)\log\frac{a+r}{a-r} - a^2 \arcsin\frac{r}{a}\Big] + \nu\pi\Delta^2 r\sigma$$

und folglich in (267.)

$$291.\quad \frac{Q}{4g}(v_1^2 - v_0^2) = -\frac{\pi^2 \Delta^4 \sigma}{4B}\Big[8m_1\lambda r + ar + 2r^2 + r\sqrt{(a^2-r^2)} + \tfrac{1}{2}r^2\pi - \tfrac{1}{2}(a^2-r^2)\log\frac{a+r}{a-r} - a^2 \arcsin\frac{r}{a}\Big] - \pi ZD - \nu\pi\Delta^2\sigma r.$$

G. Für den ersten Umlauf der Kurbel ist $m_1 = 0$, für den zweiten $m_1 = 1$, für den dritten $m_1 = 2$ u. s. w. (*D.*). Also nur das erste Glied rechts in (291.) *ändert* sich für die verschiedenen auf einander folgenden Umläufe; alles Übrige bleibt *dasselbe.* Setzt man daher der Kürze wegen

$$292.\quad \frac{\pi^2 \Delta^4 \sigma}{4B}\Big[ar + 2r^2 + r\sqrt{(a^2-r^2)} + \tfrac{1}{2}r\pi - \tfrac{1}{2}(a^2-r^2)\log\frac{a+r}{a-r} - a^2\arcsin\frac{r}{a}\Big] = C,$$

so ist in (291.)

$$293.\quad \begin{cases} \frac{Q}{4g}(v_1^2 - v_0^2) = -C - \pi ZD - \nu\pi\Delta^2 r\sigma \text{ für den ersten Umlauf der Kurbel,} \\ \frac{Q}{4g}(v_2^2 - v_1^2) = -\frac{2\pi^2\Delta^4\sigma}{B}.\lambda r - C - \pi ZD - \nu\pi\Delta^2\nu\sigma \text{ für den zweiten Umlauf,} \\ \frac{Q}{4g}(v_3^2 - v_2^2) = -\frac{2\pi^2\Delta^4\sigma}{B}.2\lambda r - C - \pi ZD - \nu\pi\Delta^2 r\sigma \text{ für den dritten Umlauf,} \\ \frac{Q}{4g}(v_4^2 - v_3^2) = -\frac{2\pi^2\Delta^4\sigma}{B}.3\lambda r - C - \pi ZD - \nu\pi\Delta^2 r\sigma \text{ für den vierten Umlauf,} \\ \dots \\ \frac{Q}{4g}(v_m^2 - v_{m-1}^2) = -\frac{2\pi^2\Delta^4\sigma}{B}(m-1)\lambda r - C - \pi ZD - \nu\pi\Delta^2 r\sigma \text{ für den } m\text{ten Umlauf.} \end{cases}$$

Die *Summe* hiervon ist, da $2r = \lambda$,

$$294.\quad \frac{Q}{4g}(v_m^2 - v_0^2) = -\tfrac{1}{2}\lambda^2 m(m-1)\frac{\pi^2\Delta^4\sigma}{B} - mC - m\pi ZD - m\nu\pi\Delta^2 r\sigma.$$

H. In dem Ausdruck von C (292.) sei der Factor

$$295.\quad ar + 2r^2 + r\sqrt{(a^2-r^2)} + \tfrac{1}{2}r^2\pi - \tfrac{1}{2}(a-r^2)\log\frac{a+r}{a-r} - a^2\arcsin\frac{r}{a} = c,$$

so dafs

$$296.\quad C = \frac{\pi^2\Delta^4\sigma}{4B}.c$$

ist, so giebt (294.)

297. $\frac{Q}{4g}(v_0^2 - v_m^2) = m\left[\frac{2(m-1)\lambda^2 + c}{4B} \cdot \pi^2 \Delta^4 \sigma + \pi ZD + \frac{1}{2} v \pi \Delta^4 \lambda \sigma\right]$.

Es sei ferner die Länge des auf der Bahn mit m Umläufen der Kurbel oder des Triebrades durchlaufenen Weges $= L$, so ist, wie in (201.)

298. $L = m\pi D$ und $m = \frac{L}{\pi D}$.

Dies in (297.) gesetzt, giebt

299. $\frac{Q}{4g}(v_0^2 - v_m^2) = L\left[\Delta^4 \sigma \frac{2(L - \pi D)\lambda^2 + c\pi D}{4BD^2} + Z + \frac{v \Delta^4 \lambda \sigma}{2D}\right]$.

I. Hier hat, wie man sieht, die Länge a der *Bläuelstange* auf das Resultat, nemlich auf die Gröfse c (295.), *Einflufs*.

In dem Fall, wo a gegen r so grofs ist, dafs man $\frac{r}{a}$ aufser Acht lassen kann, reducirt sich c sehr. Man drücke nemlich c wie folgt aus:

300. $c = ar + 2r^2 + ar\sqrt{\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)} + \frac{1}{2}r^2\pi - \frac{1}{2}a^2\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)\log\frac{1 + \frac{r}{a}}{1 - \frac{r}{a}} - a^2 \arcsin\frac{r}{a}$.

Es ist $\log\frac{1 + \frac{r}{a}}{1 - \frac{r}{a}} = 2\left(\frac{r}{a} + \frac{r^3}{3a^3} + \frac{r^5}{5a^5} \ldots\right)$ und dies mit $\frac{1}{2}a^2\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)$, oder $\left(\frac{r^2}{a^2}\right.$ als sehr klein weggelassen$\left.\right)$ mit $\frac{1}{2}a^2$ multiplicirt, giebt $ar + \frac{r^3}{3a} + \frac{r^5}{5a^3} \ldots$, also blofs ar; was sich mit dem *ersten* Gliede ar in (300.) hebt. Ferner ist $\sin\frac{r}{a}$, wenn r gegen a sehr klein ist, $= \frac{r}{a}$, also $a^2 \arcsin\frac{r}{a} = ar$; was sich mit dem *dritten* Gliede $ar\sqrt{\left(1 - \frac{r^2}{a^2}\right)}$ in (300.) (hier blofs ar) hebt. Es bleibt also für c blofs das *zweite* und *vierte* Glied und es ist also

301. $c = 2r^2 + \frac{1}{2}r^2\pi = \frac{1}{2}\lambda^2(1 + \frac{1}{4}\pi)$;

wie es sein mufs. Denn wenn r gegen a sehr klein ist, so ist in (273.) blofs $u_1 = x$ und $u_2 = y$, also in (275.) blofs $p = \frac{\pi^2 \Delta^4 \sigma}{8B}(4m_1\lambda + x + y)$ und in (277.) blofs $\partial X = \frac{\pi^2 \Delta^4 \sigma}{8B}(4m_1\lambda + x + y)\partial x$, und davon ist das Integral, von $x = 0$ bis $x = 2r$, weil dasjenige von $y\partial x$ die Fläche des Halbkreises AMD also $= \frac{1}{2}r^2\pi$ ist,

$$X_2 - X_0, = \frac{\pi^2 \Delta^4 \sigma}{8B}(8m_1\lambda r + 2r^2 + \frac{1}{2}r^2\pi)$$

und c bekommt den Werth (301.).

In diesem besondern Falle also ist in (299.)

$$302.\quad \frac{Q}{4g}(v_0^2 - v_m^2) = L\left[\Delta^2\sigma\frac{(2L-(\frac{3}{2}-\frac{1}{8}\pi)\pi D)\lambda^2}{4BD^2} + Z + \frac{\nu\Delta^2\lambda\sigma}{2D}\right].$$

Da auch $(\frac{3}{2}-\frac{1}{8}\pi)\pi D = 3{,}5\,D$ oder etwa $3\frac{1}{2}$ mal der Durchmesser der Triebräder gegen die doppelte durchlaufene Strecke $2L$ immer sehr klein sein wird, so kann man es gegen $2L$ weglassen und blofs setzen

$$303.\quad \frac{Q}{4g}(v_0^2 - v_m^2) = L\left(Z + \frac{\Delta^2\lambda^2\sigma L}{2BD^2} + \frac{\nu\Delta^2\lambda\sigma}{2D}\right)$$
$$= L\left(Z + \frac{\Delta^2\lambda\sigma}{D}\left(\nu + \frac{\Delta^2\lambda L}{BD}\right)\right).$$

K. Der Unterschied des Werths von c (295.), wenn man die Länge a der Bläuelstange in Rechnung bringt, gegen den (301.), wenn man sie aufser Acht läfst, ist nicht bedeutend.

Man setze z. B. den Kurbelarm $r = \frac{3}{4}$ F.; dann pflegt die Länge der Bläuelstange a wenigstens 5 bis 6mal so lang zu sein, nemlich etwa $4\frac{1}{2}$ F. Dies giebt in (295.)

$$304.\quad c = 4\tfrac{1}{2}\cdot\tfrac{3}{4} + 2\cdot\tfrac{9}{16} + \tfrac{3}{4}\sqrt{19\tfrac{15}{16}} + \tfrac{1}{2}\cdot\tfrac{9}{16}\cdot 3\tfrac{1}{7} - \tfrac{1}{2}\cdot 19\tfrac{15}{16}\log\frac{5\frac{1}{4}}{3\frac{3}{4}}$$
$$- 20\tfrac{1}{4}\,\text{arc sin}\,\frac{3}{4.4\frac{1}{2}} = 2{,}002$$

und in (301.)

$$305.\quad c = 2\cdot\tfrac{9}{16} + \tfrac{1}{2}\cdot\tfrac{9}{16}\cdot 3\tfrac{1}{7} = 2{,}109,$$

also nur um etwa den 70ten Theil gröfser. Man kann daher ohne grofse Abweichung den Werth von c (301.) statt desjenigen (295.) setzen, um so mehr, da in (299.) $c\pi D$ selbst gegen $2(L-\pi D)\lambda^2$ nur klein ist; und folglich ist der Ausdruck (303.) für die Ausübung hinreichend genau.

L. Setzt man noch den Ausdruck der Zugkraft

$$306.\quad Z = Q(n + \text{tang}\,\beta)\quad (103.),$$

in welchem für $\text{tang}\,\beta$ der Abhang zu nehmen ist, auf welchem der Hemmbehälter wirken soll, so giebt (299.)

$$QBD^2(v_0^2 - v_m^2)$$
$$= gL[2\Delta^2\sigma((L-\pi D)\lambda^2 + c\pi D) + 4BD^2Q(n+\text{tang}\,\beta) + 2BD\nu\Delta^2\lambda\sigma]$$

oder

$$307.\quad QBD^2(v_0^2 - v^2 - 4g(n + \text{tang}\,\beta)L)$$
$$= 2L\Delta^2\sigma g\left[(L-\pi D)\lambda^2 + \tfrac{1}{2}c\pi D + \frac{\nu\lambda BD}{\Delta^2}\right]$$

und (303.) giebt

$BD^2Q(v_0^2 - v_m^2) = 2gL[2Q(n+\text{tang}\,\beta)BD^2 + \Delta^2\lambda^2\sigma L + \nu\Delta^2\lambda\sigma BD]$ oder

$$308.\quad QBD^2[v_0^2 - v_m^2 - 4gL(n + \operatorname{tang}\beta)]$$
$$= 2gL^2\Delta^2\lambda^2\sigma + 2gL\nu\Delta^2 BD\lambda\sigma = 2gL\Delta^2\lambda\sigma(L\Delta^2\lambda + \nu BD).$$

M. Der Ausdruck (307.), oder näherungsweise derjenige (308.), ist nun die Gleichung zwischen der Geschwindigkeit v_m, der Gröfse B des Hemmbehälters und der Länge L der durchlaufenen Strecke, auf welche der Hemmbehälter die anfängliche Geschwindigkeit v_0 auf v_m herabbringt. Man kann also aus der Gleichung eine der drei Gröfsen v_m, B und L finden, wenn die beiden andern gegeben sind; und zwar kann man dazu nach (*K.*) die einfachere Gleichung (308.) anwenden. Sie giebt

a. Wenn B und L gegeben sind:

$$309.\quad v_m^2 = v_0^2 - 4gL(n + \operatorname{tang}\beta) - \frac{2gL\Delta^2\sigma(L\Delta^2\lambda + \nu BD)}{D^2 BQ}.$$

b. Sind L und v_m gegeben, so giebt (308.)

$$310.\quad B = \frac{2gL^2\Delta^4\lambda^3\sigma}{D[DQ(v_0^2 - v_m^2 - 4gL(n + \operatorname{tang}\beta)) - 2gL\Delta^2\lambda\nu\sigma]},$$

also, wenn z. B. $v_m = v_0$ sein soll

$$311.\quad B = -\frac{L\Delta^4\lambda^3\sigma}{D(2(n + \operatorname{tang}\beta)DQ + \Delta^2\lambda\nu\sigma)}$$

und wenn $v_m = 0$ sein soll

$$312.\quad B = \frac{2gL^2\Delta^4\lambda^3\sigma}{D(DQ(v_0^2 - 4gL(n + \operatorname{tang}\beta)) - 2gL\Delta^2\lambda\nu\sigma)}.$$

c. Sind B und v_m gegeben, so giebt (308.)

$$313.\quad L = -\frac{BD}{\Delta^4\lambda^3\sigma}\Big[QD(n + \operatorname{tang}\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma$$
$$\pm\sqrt{\Big((QD(n + \operatorname{tang}\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma)^2 + (v_0^2 - v_m^2)\frac{Q\Delta^4\lambda^3\sigma}{2gB}\Big)}\Big],$$

also für $v_m = v_0$

$$314.\quad L = -\frac{2BD}{\Delta^4\lambda^3\sigma}(QD(n + \operatorname{tang}\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma)$$

und wenn $v_m = 0$ sein soll

$$315.\quad L = -\frac{BD}{\Delta^4\lambda^3\sigma}\Big[QD(n + \operatorname{tang}\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma$$
$$\pm\sqrt{\Big((QD(n + \operatorname{tang}\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma)^2 + v_0^2\frac{Q\Delta^4\lambda^3\sigma}{2gB}\Big)}\Big].$$

N. Die Spannung s über die der Atmosphäre hinaus, auf welche die Luft im Hemmbehälter zusammengeprefst wird, ist nach m Umläufen der Kurbel zufolge (*C.* und *D.*):

316. $s = \frac{m\pi\Delta^2\lambda}{B} + \nu = \frac{L}{\pi D} \cdot \frac{\pi\Delta^2\lambda}{B} + \nu = \frac{L\Delta^2\lambda}{DB} + \nu,$

oder wenn man hierin den Ausdruck (310.) von B setzt,

317. $s = \frac{DQ(v_0^2 - v_m^2 - 4gL(n + \text{tang}\,\beta))}{2gL\Delta^2\lambda\sigma}.$

Dieses giebt für $v_m = v_0$

318. $s = -\frac{2DQ(n + \text{tang}\,\beta)}{\Delta^2\lambda\sigma}$

und für $v_m = 0$

319. $s = \frac{DQ(v_0^2 - 4gL(n + \text{tang}\,\beta))}{2gL\Delta^2\lambda\sigma}.$

O. Will man z. B. wissen, wie grofs ein anfangs leerer Hemmbehälter B sein müsse, um einen $Q = 1800.110$ Pfd. schweren Wagenzug, der auf einem Abhange $\text{tang}\,\beta = -\frac{1}{100} = -0{,}01$ hinabrollt, durch Cylinder von $\Delta = 1$ F. im Durchmesser und $\lambda = 1\frac{1}{2}$ F. lang, und durch Triebräder von $D = 5$ F. im Durchmesser auf $L = 2000$ F. lang so zu hemmen, dafs die Geschwindigkeit v_m am Fufse des Abhanges der v_0 am Gipfel desselben *gleich* sei, so giebt die Formel (311.) für $\nu = 0$

320. $B = -\frac{2000.1.(\frac{3}{2})^2.18.110}{2(0{,}004 - 0{,}010)5^2.1800.110} = 118\frac{1}{4}$ C. F.

und nach (318.) wird die Luft in diesem Behälter dadurch auf

321. $s = -\frac{2.5.1800.110(0{,}004 - 0{,}010)}{1.\frac{3}{2}.18.110} = 4\frac{1}{2}$ Atmosphären

zusammengeprefst.

P. Wie oben bemerkt, läfst sich auch das Einpumpen der Luft benutzen, um einen Wagenzug überhaupt zu hemmen oder zum *Stillstand* zu bringen.

Will man z. B., dafs ein mit der Geschwindigkeit $c = 26\frac{2}{3}$ F. oder 4 Meilen in der Stunde auf *horizontaler* Bahn sich bewegender $Q = 1800$ Ctr. schwerer Wagenzug auf $L = 100$ F. lang durch einen Hemmbehälter zum Stillstand gebracht werde, in welchem die Luft schon auf $\nu = 10$ Atmosphären wirksamen Drucks verdichtet ist, so ergiebt sich aus (312.) für die dazu nöthige Gröfse des Behälters, wenn wie in (*O.*) $\Delta = 1$, $\lambda = 1\frac{1}{2}$ F., $D = 5$ F. ist,

322. $B = 0{,}37$ C. F.

und die Luft in diesem Behälter wird nach (319.) auf

323. $s = 82{,}3$ Atmosphären

zusammengeprefst. Dieses ist freilich nicht ausführbar. Aber die Hemmung wird ausführbarer, wenn man entweder die Cylinder gröfser macht, oder sich begnügt, die Wirkung erst auf eine etwas längere Strecke zu erreichen. Z. B. für $L = 300$ F. wäre schon blofs $B = 5{,}2$ C. F. und $s = 25{,}4$ Atmosphären; was allenfalls schon ausführbar ist.

Also, wenn man auf einen Luftwagen noch einen besondern kleinen Behälter von ein Paar Cubikfufs grofs setzt, so läfst sich durch denselben der Wagenzug in den gewöhnlichen Fällen ziemlich schnell zum Stillstand bringen und man kann dann durch das Hemmen, statt zusammengeprefste Luft zu *verlieren*, vielmehr deren noch gewinnen. Nur wo ein sehr plötzliches Hemmen nöthig ist, mufs man die *gewöhnlichen* Hemm-Vorrichtungen zu Hülfe nehmen.

XIII. Luftwagen von der zweiten Art, bei welchen die zusammengeprefste Luft nur während eines Theiles des Kolbenlaufes in die Cylinder eingelassen wird.

a. Beschreibung desselben und seiner Wirkungen.

43.

Man hat bei Dampfwagen und bei Dampfmaschinen überhaupt die Bemerkung gemacht, dafs keineswegs die gröfste Wirkung der Spannkraft des Dampfs erlangt wird, wenn man den Dampf aus dem Kessel während des *ganzen* Kolbenlaufs in den Cylinder treten, also den *ganzen* Cylinder mit Dampf von der Spannung dessen im Kessel sich anfüllen läfst; es hat sich gefunden, dafs es vortheilhafter sei, wenn man den Zutritt des Dampfes aus dem Kessel in den Cylinder schon *absperrt*, wenn der Kolben erst *einen Theil* seines Laufs zurückgelegt hat, und hierauf den in den Cylinder getretenen Dampf sich *ausdehnen* und *so* den Cylinder *weiter* forttreiben läfst. Die hierdurch erreichbare Ersparung an Kraft hat sich bei Dampfmaschinen als sehr bedeutend erwiesen.

Da nun Dampf und zusammengeprefste Luft beide in der Wirkung ihrer Spannung ganz gleich sind, so mufs das Nemliche auch für *zusammengeprefste Luft* und folglich auch für *Luftwagen* Statt finden. In der That ist es offenbar, dafs, wenn man die zusammengeprefste Luft auf die Weise wie in (§. 33. *B.*) wirken, nemlich diejenige, welche den Kolben in (Fig. 13.) z. B. von der Lin-

ken nach der Rechten seinen ganzen Lauf hindurch fortgetrieben hat, *ins Freie entweichen läfst,* sobald der Kolben den Rückweg antritt, damit ihm auf dem Rückwege, eben wie auf dem Hinwege, nur noch *atmosphärische,* nicht mehr *zusammengedrückte* Luft *entgegenwirken* möge: dafs dann *die Spannung der entlassenen Luft verloren geht,* also eine wirkliche Kraft aufgeopfert wird, die möglicherweise noch hätte benutzt werden können. Es läfst sich sogar im Voraus schliefsen, dafs es vortheilhafter und *am vortheilhaftesten* sein werde, wenn man die zusammengeprefste Luft, welche den Kolben auf *einen Theil* seines Laufes fortgetrieben hat (den weitern Zutritt der zusammengeprefsten Luft aus dem Behälter nunmehr absperrend) *gerade so weit sich ausdehnen* läfst, dafs ihr nur noch die *Spannung der Atmosphäre* bleibt; denn diese für den Rückweg des Kolbens auszutreibende Luft hat dann *kein* Übergewicht an Spannkraft mehr über die äufsere Luft und es geht also mit ihr *nichts* mehr verloren. Die Rechnung hier unten (§. 46. *II.* und *I.*) wird zeigen, dafs es sich *wirklich* gerade so verhält; so wie, dafs die Ersparung an Kraft welche durch diese Anordnung sich erzielen läfst, bedeutend ist.

Wir müssen nun zunächst wieder beschreiben, wie der Luftwagen von dieser *zweiten Art* einzurichten sein würde, damit der Zutritt der zusammengeprefsten Luft aus den Behältern in den Cylinder schon dann abgesperrt werde, wenn der Kolben erst *einen Theil* seines Laufes zurückgelegt hat. Der Luftwagen selbst bleibt offenbar derselbe wie oben und einem Dampfwagen ähnlich; es kommt nur auf eine andere Einrichtung der Cylinder mit ihren Schiebeventilen an.

44.

A. Man setze, der Zutritt der zusammengedrückten Luft in den Cylinder solle schon abgesperrt werden, wenn der Kolben von seinem Laufe $AD = A_1D_1 = \lambda$ (Fig. 19. I.) erst *den Theil*

$$324. \quad AC = k$$

zurückgelegt hat. Figur 19. II. stelle die Kreise vor, welche die Kurbeln am Triebrade und die gröfsten Arme der excentrischen Scheiben, die die Gleitventile hin und her schieben, um den Mittelpunct Z der Trieb-Achse beschreiben. Die Bläuel- oder Schiebestangen der Kolben und der Gleitventile sind hier nicht, wie in (Fig. 13. und 16.), gezeichnet.

B. Wenn der Kurbel-Arm in der Lage AZ (Fig. 19. II.) ist, befinde sich die linke Fläche des Kolbens in A (Fig. I.); wenn der Kurbel-

arm die Lage ***BZ*** (II.) hat, in ***B*** (I.). Wenn er die Lage ***CZ*** (II.) hat, in ***C*** (I.); wenn er die Lage ***DZ*** (II.) hat, in ***D*** (I.); wenn er die Lage ***EZ*** (II.) hat, befinde sich die rechtseitige Fläche des Kolbens in E_1 (I.); wenn er die Lage ***FZ*** (II.) hat in F_1 (I.), und endlich, wenn er wieder in die Lage ***AZ*** (II.) zurückgekommen ist, wieder in A_1 (I.) und die linke Fläche in ***A*** (I.), so dafs also AB (I.) $= AB_1$ (II.), AC (I.) $= AC_1$ (II.); AD (I.) $= AD$ (II.), D_1E_1 (I.) $= DE_1$ (II.) und D_1F_1 (I.) $= DF_1$ (II.) ist.

C. Da in dem Fall, wenn der Kolben durch *zusammengeprefste* Luft soll *fortgetrieben* werden, nur während seines Laufes von ***A*** bis ***C*** (I.) und rückwärts von D_1 bis F_1 dergleichen Luft in den Cylinder soll gelangen können, so müssen während des Theils des Kolbenlaufs von ***C*** bis ***D*** oder von ***F*** bis A_1 *beide* Zuleitungscanäle 1 und 2 verschlossen sein. Da nun aber bei der gewöhnlichen Art, mit einem *einzelnen* Schiebeventil, nach (Fig. 13.), die Luft, welche *vor* dem Kolben ausgetrieben wird, nur durch den einen oder den andern der *nemlichen* Canäle 1 und 2 entweichen kann, so würde diese Luft hier während des Theils ***CD*** des Kolbenlaufs in den Cylinder *eingesperrt* sein und also *zusammengedrückt* werden, welches den Kolben, statt ihn fortzutreiben, *hemmen* und mithin nachtheilig sein würde. Daraus folgt, dafs hier, anders wie in dem Fall, wo die zusammengeprefste Luft während des *ganzen* Kolbenlaufs in den Cylinder strömen soll, *ein einzelnes Schiebeventil nicht hinreichend ist;* wenigstens nicht ohne sehr künstliche Anordnungen. Durch *zwei* Schiebeventile, wie sie in Fig. 19. I. angedeutet sind, also auch mit *zwei* excentrischen Scheiben, mit einer für jeden der beiden Cylinder, läfst sich aber die verlangte Wirkung eben so einfach erlangen, wie in dem gewöhnlichen Falle (Fig. 13.); und zwar auf folgende Weise. (Die Figuren deuten die Anordnung nur an.)

D. ***V*** (Fig. 19. I.) sei die Röhre, $a,a_{,,}$ das Ventil für die in den Cylinder *einströmende,* ***X*** die Röhre und $\alpha,\alpha_{,,}$ das Ventil für die aus dem Cylinder *ausströmende* Luft. ***aZ*** (Fig. 19. II.) sei der gröfste Hebelsarm der *ersten* das Ventil $a,a_{,,}$ (Fig. I.) hin und her schiebenden excentrischen Scheibe auf der Triebachse und αZ (II.) der gröfste Hebelsarm der *zweiten* excentrischen Scheibe, welche das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (Fig. 1.) in Bewegung setzt.

Wenn sich der Kurbelarm in ***AZ*** (Fig. II.), also die linke Fläche des Kolbens in ***A*** (Fig. I.) befindet, habe die *erste* Scheibe die Lage ***aZ*** (Fig. II.) und das Ventil $a,a_{,,}$ (I.) die Lage $a,a_{,,}$; die zweite Scheibe dagegen die

Lage αZ (II.) und das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (I.) die Lage $\alpha,\alpha_{,,}$. Alsdann sind alle vier Canäle 1, 2, 3 und 4 *verschlossen.*

So wie nun die Kurbel den Winkel $AZB = aZb$ (II.) durchläuft, also die linke Fläche des Kolbens von A nach B (I.) gelangt, kommt die *erste* Scheibe aZ (II.) in die Lage bZ und das Ventil $a,a_{,,}$, welches sie (*rückläufig* vermittelst eines zweiarmigen Hebels wie in Fig. 13.) zieht, aus der Lage $a,a_{,,}$ in die Lage $b,b_{,,}$; zu welchem Ende die Breite der Öffnung des Canals 1 nicht kleiner als bc_1 (Fig. II.) sein darf; die *zweite* Scheibe αZ (II.) dagegen kommt, $\alpha Z\beta = AZB$ gesetzt, in die Lage βZ und schiebt das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (I.) (*rechtläufig*, also *ohne* zweiarmigen Hebel) aus der Lage $\alpha,\alpha_{,,}$ in die Lage $\beta,\beta_{,,}$. Während des Laufs der Kurbel von A nach B (II.) ist also der Canal 1 (I.), so wie der Canal 4 geöffnet, die Canäle 2 und 3 dagegen sind verschlossen; die zusammengepreſste Luft kann folglich *hinter* den Kolben durch den Canal 1 in AB (I.) *eintreten*, die Luft *vor* dem Kolben dagegen rechts vom Kolben durch den Canal 4 *ausströmen.*

So wie ferner die Kurbel den Winkel $BZC = bZc$ (II.) durchläuft, also die linke Fläche des Kolbens weiter von B nach C (I.) gelangt, kommt die *erste* Scheibe in die Lage cZ (II.) und das Ventil $a,a_{,,}$ (I.) aus der Lage $b,b_{,,}$ in die Lage $c,c_{,,}$, das heiſst, wieder in die anfängliche Lage $a,a_{,,}$ *zurück;* die *zweite* Scheibe αZ (II.) dagegen kommt, $\beta Z\gamma = BZC = AZB$ gesetzt, in die Lage γZ und rückt das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (I.) *weiter* von $\beta,\beta_{,,}$ nach $\gamma,\gamma_{,,}$. Während des Laufs der Kurbel von B nach C sind also *ferner, ganz wie vorhin*, die Canäle 1 und 4 offen und die Canäle 2 und 3 sind verschlossen. Die zusammengepreſste Luft kann also *überhaupt* während des Laufes der Kurbel von A bis C (II.) durch den Canal 1 (I.) *hinter* den Kolben in AC (I.) *eintreten*, die Luft *vor* dem Kolben dagegen durch den Canal 4 *ausströmen.*

Bewegt sich die Kurbel weiter von C nach K (II.), also der Kolben weiter von C nach K (I.), so gelangt die *erste* Scheibe von Zc (II.) nach Zk und schiebt das Ventil $a,a_{,,}$ (I.) *weiter* von $c,c_{,,}$ nach $k,k_{,,}$; die *zweite* Scheibe gelangt von $Z\gamma$ nach $Z\varkappa$ (II.) und schiebt das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (I.) *ebenfalls weiter* von $\gamma,\gamma_{,,}$ nach $\varkappa,\varkappa_{,,}$. Also waren jetzt die *drei* Canäle 1, 2 und 3 (I.) *verschlossen* und nur allein der Canal 4 war *offen.* Mithin konnte die zusammengepreſste Luft *nicht* mehr *hinter* oder links vom Kolben *eintreten;* wohl aber ferner die Luft, welche sich *vor* oder rechts des Kolbens befindet, durch 4 *ausströmen.*

Bewegt sich endlich die Kurbel von K bis D (II.), also der Kolben von K nach D (I.), so gelangt die *erste* Scheibe von Zk (II.) nach Zd und schiebt das Ventil $a,a_{,,}$ (I.) *ebenfalls weiter* von $k,k_{,,}$ bis $d,d_{,,}$; die *zweite* Scheibe gelangt von $Z\varkappa$ (II.) nach $Z\delta$ und zieht das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (I.) von $\varkappa,\varkappa_{,,}$ nach $\delta,\delta_{,,}$ oder nach $\alpha,\alpha_{,,}$ *zurück*. Also waren auch hier die *drei* Canäle 1, 2 und 3 (I.) *verschlossen* und nur der Canal 4 war *offen*. Die zusammengeprefste Luft konnte *nicht hinter* oder links vom Kolben *eintreten*, wohl aber *vor* dem Kolben durch 4 *ausströmen*.

Zusammen also konnte während des *ganzen* Laufs der Kurbel, von A bis D (II.), also während des *ganzen* Kolbenlaufs AD (I.), die Luft rechts des Kolbens durch den Canal 4 und die Röhre X *ausströmen*, die zusammengeprefste Luft dagegen nur während des Kolbenlaufes von A bis C durch den Canal 1 und die Röhre V *hinter* den Kolben *eintreten*; und das ist was verlangt wird. Die Canäle 2 und 3 waren während des *ganzen* Kolbenlaufs von A bis D *beide* verschlossen.

E. Bei dem *Rücklauf* des Kolbens von D nach A, während der weitern Bewegung der Kurbel von D nach A (II.), verhält es sich auf umgekehrte Weise ganz ähnlich.

Während die Kurbel von D (II.) durch E nach F vorrückt, also der Kolben von D_1 (I.) über E_1 nach F_1 sich zurückbewegt, kommt die *erste* Scheibe von Zd (II.) durch Ze nach Zf und schiebt das Ventil $a,a_{,,}$ (I.) von $d,d_{,,}$ nach $e,e_{,,}$ hin und nach $f,f_{,,}$ oder $d,d_{,,}$ zurück, öffnet also während dieser ganzen Zeit den Canal 2 und die zusammengeprefste Luft kann durch 2 und V *rechterhand* vom Kolben in D_1F_1 *eintreten*. Die *zweite* Scheibe dagegen kommt von $Z\delta$ (II.) durch $Z\varepsilon$ nach $Z\varphi$ und zieht das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (I.) von $\delta,\delta_{,,}$ durch $\varepsilon,\varepsilon_{,,}$ nach $\varphi,\varphi_{,,}$, *öffnet* also den Canal 3 und *verschliefst* den Canal 4, so dafs die Luft *links* vom Kolben durch 3 und X *ausströmen* kann.

Bewegt sich die Kurbel weiter von F (II.) durch L nach A, also die rechte Seite des Kolbens von F_1 (I.) durch L_1 nach A_1, so kommt die *erste* Scheibe von Zf (II.) durch Zl nach Za und schiebt das Ventil $a,a_{,,}$ (I.) von $f,f_{,,}$ weiter über $l,l_{,,}$ nach $a,a_{,,}$, *verschliefst* also *beide* Canäle 1 und 2, und die zusammengedrückte Luft kann nicht mehr in den Cylinder strömen. Die *zweite* Scheibe dagegen kommt von $Z\varphi$ (II.) durch $Z\lambda$ nach $Z\alpha$ und zieht das Ventil $\alpha,\alpha_{,,}$ (I.) erst von $\varphi,\varphi_{,,}$ nach $\lambda,\lambda_{,,}$ und dann bis $\alpha,\alpha_{,,}$ zurück,

läfst also den Canal 3 offen und hält 4 verschlossen, so dafs die Luft links vom Kolben ferner durch 3 ausströmen kann.

Zusammen kann wieder während des *ganzen* Laufes des Kolbens von D nach A (II.) die Luft *vor* dem Kolben durch 3 und X ausströmen, die zusammengeprefste Luft dagegen *nur* während des Laufs des Kolbens von D_1 bis F_1 *hinter* denselben eintreten; wie es sein solle.

Bei der weitern Bewegung der Kurbel und des Kolbens wiederholt sich das Vorige.

F. Die *zusammengeprefste* Luft kann also überhaupt nur während der *Theile* $AC = D_1 F_1 = k$ (I.) des Kolbenlaufs *hinter* den Kolben eintreten, um ihn fortzutreiben: die Luft *vor* demselben dagegen kann während des *ganzen* Kolbenlaufs ausströmen, so dafs diese Luft niemals *zusammengedrückt* wird, nur der Druck der Atmosphäre dem Kolben *entgegenwirkt* und also die zusammengeprefste Luft ihre *volle* Kraft auf ihn ausüben kann.

G. So verhält es sich, wenn der *Kolben die Kurbel forttreiben mufs,* oder wenn Kraft nöthig ist, um den Wagenzug fortzubewegen. Wir müssen nun sehen, was erfolgt, wenn umgekehrt die *Kurbel den Kolben treibt,* oder wenn der Wagenzug auf einem so starken Abhange hinabrollt, dafs entweder *keine* Kraft nöthig ist, um ihn fortzubewegen, oder die Schwere auf der abhängigen Bahn sogar noch einen *Überschufs* an Kraft hervorbringt.

45.

A. Die Bewegung der beiden Ventile $a, a_{,,}$ und $\alpha, \alpha_{,,}$ (Fig. 19. I.) bleibt ganz dieselbe, es mag *zusammengeprefste* Luft hinter den Kolben treten, um ihn fortzutreiben, oder *nicht zusammenprefste,* oder sogar *verdünnte* Luft; denn diese Bewegung hängt lediglich von der der Kurbel und der excentrischen Scheiben, also von der Umdrehung der Trieb-Achse ab.

B. In dem Augenblick, wo der Kolben von A nach D (I.) hin seinen Lauf antritt, öffnen sich nach der Beschreibung im vorigen Paragraphen die Canäle 1 und 4, und 2 und 3 sind verschlossen. Ist also keine *zusammengeprefste* Luft nöthig und man läfst *atmosphärische* Luft durch V einströmen, so tritt dieselbe sowohl *hinter* als *vor* dem Kolben, nemlich durch 1 in AC und durch 4 in CD. Der Kolben wird also von der Luft weder vor noch zurück getrieben.

C. Aber dies findet nur während des *Theils* seines Laufes von *A* bis *C* Statt. Während des Rests des Hinweges von *C* bis *D* ist der obigen Beschreibung zufolge nur *allein* der Canal 4 offen; *alle* übrigen drei Canäle 1, 2 und 3 sind verschlossen. Also kann *hinter* den Kolben *keine* Luft mehr eintreten und die den Raum *AC* füllende Luft mufs sich folglich in den Raum *AD ausdehnen;* dagegen bleibt der Raum vor dem Kolben fortwährend offen, und folglich wirkt die Luft *vor* dem Kolben, die jedenfalls die Spannung der Atmosphäre hat, mit einem *Überschufs* an Kraft über die der verdünnten Luft hinter dem Kolben demselben *entgegen* und dient also jedenfalls, und zwar hier nicht *willkürlich,* sondern *unvermeidlich,* zur *Hemmung.*

D. So wie der Kolben seinen Rückweg von D_1 nach A_1 antritt, öffnen sich die Canäle 2 und 3, und 1 und 4 werden verschlossen. Also strömt nur durch 3 Luft in den Raum *DA,* welcher nun *verdünnte* Luft enthält, und hinter den Kolben in D_1F_1 tritt durch 2 ebenfalls Luft ein, letzteres jedoch nur bis der Kolben nach F_1 gelangt ist. Dort wird 2 für den übrigen Lauf von F_1 bis A_1 verschlossen, und nur 3 bleibt offen. Also mufs sich wieder die in D_1F_1 eingetretene Luft in den Raum D_1A_1 ausdehnen, während gegentheils die durch 3 eingetretene Luft fortdauernd dem Kolben *entgegenwirkt* und ihn *hemmt.*

E. Läfst man also durch *beide* Röhren *V* und *X atmosphärische* Luft eintreten, so wirkt während der Theile *AC* und $D_1F_1 = k$ des Kolbenlaufs *gar keine* Kraft auf den Kolben; während der übrigen Theile $CD = F_1A_1 = \lambda - k$ des Laufs dagegen wirkt dem Kolben der *Überschufs* der Spannung der Atmosphäre über die allmälig von dem Raum *k* in den Raum λ sich ausdehnende oder verdünnende Luft *entgegen.*

F. Läfst man *nur* durch *V* atmosphärische Luft eintreten, hingegen *X* in einen *verschlossenen Behälter* münden, der durch *B* bezeichnet werden mag, so wird zunächst beim *ersten Hinwege* des Kolbens die in $A_1D_1 = \lambda$ enthaltene atmosphärische Luft in den Behälter getrieben, während sich die in $AC = k$ eingetretene atmosphärische Luft in den Raum $AD = \lambda$ ausdehnt. Also nimmt der *Druck* auf den Kolben allmälig *ab* und zugleich der *Gegendruck* allmälig *zu.* Bei dem Rückgange des Kolbens öffnen sich die Canäle 2 und 3; die Luft tritt *aus dem Behälter B* in den Raum A_1D_1, in welchem sich noch verdünnte Luft befindet, und hat also nun *vor* dem Kolben eine *stärkere* Spannung als die Atmosphäre, und zwar um so viel, als die vorhin in $AC = k$ eingetretene atmosphärische Luft sie hervorbringt. Hinter den

Kolben, in $D_1 F_1$, tritt wieder atmosphärische Luft ein, die sich wieder von $D_1 F_1 = k$ bis auf $D_1 A_1 = \lambda$ ausdehnt. Die *vor* dem Kolben befindliche, schon verdichtete Luft treibt der Kolben in den Behälter B *zurück*. So geht es weiter; und es ist leicht zu sehen, dafs bei jedem Kolbenlauf der Raum $AC = k$ voll atmosphärischer Luft in den Behälter *eingetrieben* wird; wie es auch offenbar geschehen mufs, da die durch V immer neu *eintretende* atmosphärische Luft niemals durch V, sondern immer nur durch X ihren *Ausweg* findet.

Das *Einpumpen* von Luft findet also auch hier Statt, und der Kolbenlauf wird dadurch allmälig immer stärker gehemmt. Nur werden hier nicht bei jedem Umlauf der Kurbel zwei *ganze* Cylinder voll atmosphärischer Luft eingepumpt, sondern nur so viel, als die beiden Räume AC und $F_1 D_1$ füllt.

G. Man kann auch den Zutritt von Luft durch V *ganz abschneiden;* etwa durch einen Hahn in der Röhre V, dicht über dem Ventil $a, a_{,,}$ und dagegen X in einen verschlossenen Behälter B münden lassen. Dann wird, weil *keine* neue Luft hinzutritt, auch keine Luft weiter in den Behälter eingepumpt, als die wenige aus den Canälen 1 und 2 und über dem Ventil $a, a_{,,}$, und dem Kolben wirkt stets die Luft in dem Behälter B entgegen, abwechselnd mit der Spannung 1, bis zu derjenigen, welche die Verdichtung durch das Eintreiben der den Raum $AD = D_1 A_1$ füllenden Luft hervorbringt.

H. Schneidet man den Zutritt der Luft durch V wie vorhin *ganz ab* und läfst X ins *Freie* ausmünden, so wirkt dem Kolben *fortwährend* die Spannung der Atmosphäre entgegen.

I. Liefse sich endlich, während, wie vorhin, der Zutritt von Luft durch V abgeschnitten und X nach dem Freien hin offen ist, genau in dem Augenblick, wo der Kolben seinen Hinweg oder seinen Rückweg *vollendet* hat und also die atmosphärische Luft vor dem Kolben ausgetreten ist, X *verschliefsen,* so würde der Kolben sich in einem fast leeren Raume hin und her bewegen und ihn also *keine* Kraft, weder treiben, noch hemmen. Dieses einzurichten, wäre nicht unmöglich, da sich wohl eine Vorrichtung anbringen liefse, vermittels welcher, so wie man sie in Wirkung setzt, *der Kolben selbst,* in dem Augenblick wo er bei seinem ersten oder einem folgenden Hingange oder Rückgange an das *Ende* seines Laufes gelangt, die Röhre X dicht über dem Ventil verschliefst.

K. Die beiden Ventile $a, a_{,,}$ und $\alpha, \alpha_{,,}$ müssen hier, da sie sowohl von *aufsen nach innen*, als von *innen nach aufsen* geprefst werden, in *Falzen* sich bewegen, welche sie auf den Cylinder fest andrücken.

Nach diesem Verhalten der verschiedenen Wirkungen werden nun dieselben zu *berechnen* sein.

b. Berechnung der Wirkung der Spannung der Luft in einem Luftwagen zweiter Art auf das Forttreiben des Wagenzuges, und umgekehrt.

46.

A. Die Bezeichnungen mögen ganz dieselben sein wie in (§. 34.). Wie in (§. 54. *D.*) bemerkt, bleibt die dortige Berechnung des *Moments* des Luftdruckes p auf den Kolben *ganz dieselbe,* der Druck p mag während des Kolbenlaufs *constant* sein, oder *veränderlich.* In beiden Fällen ist das Differential ∂M dieses Moments nach (§. 34. *I.*) =

325. $\partial M = 2p\,\partial x$, für *einen* Cylinder.

B. *Dort,* in (§. 34. *K.*), ist der Druck p auf den Kolben während des *ganzen* Laufes des Kolbens, also von $x = 0$ bis $x = 2r = \lambda$, *constant,* nemlich =

326. $p = \frac{1}{4}\pi\Delta^2\mu\sigma$ (152.), für *einen* Cylinder.

Hier ist p nur von $x = 0$ bis $x = AC$ (Fig. 19.) $= k$ *constant,* von $x = AC = k$ bis $x = AD = 2r = \lambda$ aber *veränderlich,* weil sich die den Raum AC füllende zusammengepreſste Luft allmälig in den Raum AD *ausdehnt.* Das Moment M besteht also hier aus *zwei* Theilen M_1 und M_2, deren einer von $x = 0$ bis $x = k$, der andere von $x = k$ bis $x = 2r = \lambda$ zu nehmen ist.

C. Für den *ersten* Theil M_1 hat p den constanten Werth (326.), also ist für ihn nach (325.)

327. $\partial M_1 = \frac{1}{2}\pi\Delta^2\mu\sigma\,\partial x$ und folglich

328. $M_1 = \frac{1}{2}\pi\Delta^2\mu\sigma . x + \text{Const.}$

Da $M_1 = 0$ ist für $x = 0$, so ist Const. $= 0$ und, $x = k$ gesetzt, giebt (328.) für den *ganzen ersten* Theil des Moments:

329. $M_1 = \frac{1}{2}\pi\Delta^2\mu\sigma k$, für *einen* Cylinder.

D. Für den *zweiten* Theil des Moments dehnt sich die Luft, die in dem Raume AC die Spannung $1 + \mu$ hat, fortwährend aus. Ist der Kolben nach irgend einer Stelle gelangt, für welche $x > k$ ist, so hat sich die Spannung der Luft bis auf $(1 + \mu)\frac{k}{x}$ vermindert, und die Spannung, mit welcher sie nun an dieser Stelle den Kolben forttreibt, ist, nach Abzug der Spannung 1

der entgegenwirkenden Atmosphäre, $= (1+\mu)\frac{k}{x} - 1$; also ist der Ausdruck von p für den *zweiten* Theil des Moments:

$$330. \quad p = \tfrac{1}{4}\pi\Delta^2\sigma\Big[(1+\mu)\frac{k}{x} - 1\Big],$$

mithin ist nach (325.)

$$331. \quad \partial M_2 = \tfrac{1}{4}\pi\Delta^2\sigma\Big[(1+\mu)\frac{k}{x} - 1\Big]\partial x.$$

Dieses integrirt, giebt

$$332. \quad M_2 = \tfrac{1}{4}\pi\Delta^2\sigma[(1+\mu)k\log\text{nat}\, x - x] + \text{Const.}$$

Für $x = k$ ist $M_2 = 0$, also Const. $= \frac{1}{4}\pi\Delta^2\sigma[k - (1+\mu)k\log\text{nat}\, k]$ und folglich $M_2 = \frac{1}{4}\pi\Delta^2\sigma\Big[(1+\mu)k\log\text{nat}\frac{x}{k} + k - x\Big]$, und für den ganzen Rest des Kolbenlaufes CD, für welchen $x = \lambda$ ist, ist

$$333. \quad M_2 = \tfrac{1}{4}\pi\Delta^2\sigma\Big[(1+\mu)k\log\text{nat}\frac{\lambda}{k} + k - \lambda\Big], \text{ für } \textit{einen} \text{ Cylinder.}$$

E. Die beiden Momente M_1 und M_2 (329. und 333.) zusammen machen das Moment M für die ganze Umdrehung der Trieb-Achse aus; denn für den untern Halbkreis DLA ist das Moment nach (§. 34. *I.*) schon in (325.) in Rechnung gebracht. Das gesammte Moment für einen *ganzen* Umlauf der Trieb-Achse und für die *beiden* Cylinder ist also

$$334. \quad M = \pi\Delta^2\sigma\Big[(1+\mu)k\Big(\log\text{nat}\frac{\lambda}{k} + 1\Big) - \lambda\Big].$$

F. Dieses Moment an der Kurbel wird durch eine Luftmasse von der Spannung $1+\mu$ hervorgebracht, welche 4mal den Raum AC hinter dem Kolben füllt und welche durch a bezeichnet werden mag, also durch

$$335. \quad a = \pi\Delta^2(1+\mu)k \text{ C. F. } \textit{atmosphärischer} \text{ Luft.}$$

Setzt man a in (334.), so ergiebt sich

$$336. \quad M = a\sigma\Big(\log\text{nat}\frac{\lambda}{k} + 1 - \frac{\lambda}{(1+\mu)k}\Big).$$

G. Da nun k *willkürlich* ist, so fragt sich, durch *welches* k mit *derselben* Luftmasse a das *möglich-gröfste* Moment erlangt werde.

Dieses k wird dasjenige sein, für welches $\log\text{nat}\frac{\lambda}{k} + 1 - \frac{\lambda}{(1+\mu)k}$ oder

$$337. \quad \log\text{nat}\,\lambda - \log\text{nat}\, k + 1 - \frac{\lambda}{(1+\mu)k} = \text{Max. ist.}$$

Die *erste* Differentiation nach k giebt

$$338. \quad -\frac{1}{k} + \frac{\lambda}{(1+\mu)k^2} = \partial\,\text{Max.} = 0;$$

die *zweite* giebt

$$339. \quad \frac{1}{k^2} - \frac{2\lambda}{(1+\mu)k^3} = \partial^2 \text{Max.}$$

Aus (338.) folgt $(1+\mu)k - \lambda = 0$, also

$$340. \quad k = \frac{\lambda}{1+\mu}$$

und dies in (339.) gesetzt giebt $\frac{(1+\mu)^2}{\lambda^2} - \frac{2\lambda}{1+\mu} \cdot \frac{(1+\mu)^3}{\lambda^3}$ oder

$$341. \quad \frac{-(1+\mu)^2}{\lambda^2} = \partial^2 \text{Max.}$$

Dieses ∂^2 Max. ist immer *negativ*, also giebt $k = \frac{\lambda}{1+\mu}$ wirklich ein *Maximum, nicht ein Minimum.*

H. Den für das Maximum gefundenen Werth von k (340.) in den Ausdruck des Moments (334.) gesetzt, giebt $M = \pi\varDelta^2\sigma[\lambda(\log\text{nat}(1+\mu)+1)-\lambda]$ oder

$$342. \quad M = \pi\varDelta^2\sigma\lambda\log\text{nat}(1+\mu);$$

welches also das möglich-gröfste, mit der Luftmasse

$$343. \quad a = \pi\varDelta^2(1+\mu)k \quad (335.) \quad = \pi\varDelta^2\lambda \quad (340.)$$

zu erlangende Moment ist. Setzt man (343.) in (342.), so kann auch M durch

$$344. \quad M = a\sigma\log\text{nat}(1+\mu)$$

ausgedrückt werden.

I. Die Luftmasse a (343.) ist, wie man sieht, gerade die *atmosphärische* Luft, *welche in 4 Cylindern Raum findet.* Es folgt also, dafs man, um das möglich-gröfste Moment zu erlangen, die atmosphärische Luft, welche die Cylinder füllen würde, bis auf die Spannung $1+\mu$ zusammenpressen, in einen Raum AC, der der $1+\mu$te Theil des Cylinders ist (340.), einströmen und sie dann wieder, indem sie den Kolben forttreibt, bis zu der blofsen Spannung der Atmosphäre hinunter sich ausdehnen lassen mufs. Nachdem nemlich der Kolben das Ende D des Cylinders erreicht hat, ist die Spannung $1+\mu$ der Luft in AC bis auf $(1+\mu)\frac{AC}{AD} = (1+\mu)\frac{k}{\lambda} = (1+\mu)\frac{1}{1+\mu}$ (340.) $= 1$, also bis auf die Spannung der blofsen Atmosphäre hinabgesunken.

K. Wäre $k = \lambda$, so dafs sich, wie bei der *ersten* Art von Luftwagen, die *ganzen* Cylinder mit *zusammengeprefster* Luft füllten, so wäre nach (334.) $\overset{1}{M} = \pi\varDelta^2\sigma[(1+\mu)\lambda(\log\text{nat}\,1+1)-\lambda]$ oder

$$345. \quad \overset{1}{M} = \pi\varDelta^2\mu\lambda\sigma.$$

Dieser Ausdruck stimmt, wie gehörig, mit Dem was (329.) für $k=\lambda$ giebt, so wie mit (153. §. 34. *L.*) überein.

L. Ferner ist für $k=\lambda$ in (335.)

$$346.\quad \overset{1}{a} = \pi \Delta^2 (1+\mu)\lambda,$$

welches, in (345.) gesetzt,

$$347.\quad \overset{1}{M} = \sigma \overset{1}{a} \frac{\mu}{1+\mu}$$

giebt. Soll nun

$$348.\quad \overset{1}{a} = a$$

sein oder für beide Arten von Luftwagen ***dieselbe*** Luftmasse, auf ***dieselbe*** Spannung $1+\mu$ zusammengeprefst, angewendet werden, so dafs nur Δ und λ in den beiden Luftwagen verschieden sind, so ergiebt sich aus (344. und 347.)

$$349.\quad \begin{cases} 1.\quad M = a\sigma \log\text{nat}(1+\mu) & \text{für } k = \dfrac{\lambda}{1+\mu} \text{ und} \\ 2.\quad \overset{1}{M} = a\sigma \dfrac{\mu}{1+\mu} & \text{für } k=\lambda, \end{cases}$$

also

$$350.\quad \frac{M}{\overset{1}{M}} = \frac{1+\mu}{\mu} \log\text{nat}(1+\mu).$$

Das ***Sovielfache*** ist das Moment der ***zweiten*** Art des Luftwagens von dem der ***ersten***. Der Ausdruck (350.) giebt

351. $\dfrac{M}{\overset{1}{M}} =$

Für $\mu=2$,	3,	4,	5,	6,	7,	8,	9,	10.
1,648	1,848	2,012	2,150	2,270	2,377	2,472	2,558	2,637.

Es zeigt sich also, dafs eine ***bedeutend gröfsere Wirkung*** durch die ***zweite*** gegen die ***erste*** Art des Luftwagens erreicht werden kann. Und dies bestätigt, was in (§. 43.) im Voraus zu erachten war. Das Resultat (*I.*) bestätigt, was dort im Voraus geschlossen wurde, nemlich, dafs es ***am vortheilhaftesten*** sei, den Eintritt der zusammengeprefsten Luft in die Cylinder so abzuschneiden, dafs sie, nun weiter in dem Cylinder sich ausdehnend und den Kolben forttreibend, gerade wieder bis zur Spannung der blofsen Atmosphäre hinabsinkt und erst bis so weit verdünnt aus dem Cylinder wieder hinausgetrieben werde, weil dann keine Kraft der Spannung der zusammengeprefsten Luft mehr ***verloren*** geht.

47.

A. Für *welches* Moment (334.) oder für *welche* Zugkraft des Wagens, also für *welche* dazu nöthige Spannung $1+\mu$ der Luft man auch k nach (340.) so einrichten möge, dafs gerade für *diese* Spannung, die zum Unterschiede durch $1+\mu_1$ bezeichnet werden mag, die *möglich-gröfste* Wirkung erreicht werde, so pafst doch k dann immer *nur allein* für eben *diese* Spannung $1+\mu_1$ und für die Zugkraft, welche ihr entspricht. Ist k einmal *bestimmt*, so läfst es sich nicht mehr, wenigstens nicht *während* einer Fahrt des Wagens, ändern; denn die excentrischen Scheiben auf der Triebrad-Achse müssen danach festgestellt und *festgeschraubt* werden. Tritt nun hierauf eine *schwächere* als auf $1+\mu_1$ gespannte Luft in die Cylinder, weil *weniger* Zugkraft nöthig ist, so wird sie sich, wenn der Kolben von C nach D sich bewegt, nicht allein bis zur Spannung der blofsen Atmosphäre hinunter, sondern bis auf eine *noch geringere* Spannung ausdehnen und also dann die äufsere Luft dem Kolben gegen das Ende seines Laufes *entgegenwirken.* Tritt eine *stärker* als auf $1+\mu_1$ gespannte Luft in die Cylinder, weil *mehr* Zugkraft nöthig ist, so wird sie sich, so wie der Kolben von C nach D fortrückt, *nicht ganz* bis zur Spannung der blofsen Atmosphäre hinab verdünnen, also beim Rückgange des Kolbens noch mit einiger *überschüssiger* Spannung entweichen.

Nun ist wirklich während einer Fahrt die nöthige Zugkraft verschieden, und *sehr* verschieden, je nachdem die Eisenbahn mehr oder weniger steigt, oder fällt. Also mufs man die Luft wirklich auf *sehr verschiedene* Spannungen, die *allgemein* durch $1+\mu$ bezeichnet werden, in die Cylinder treten lassen. Es ist demnach zu untersuchen, welches Moment von einer *beliebigen* Spannung $1+\mu$ der in die Cylinder eintretenden zusammengeprefsten Luft hervorgebracht werde, nachdem einmal k für irgend ein bestimmtes $\mu=\mu_1$ *festgesetzt* worden ist.

Erster Fall $\mu > \mu_1$.

B. Auf diesen Fall passen vollkommen *dieselben* Rechnungen wie in (§. 46. *B.* bis *E.*); denn es ist dort noch nicht vorausgesetzt worden, dafs sich die Luft gerade wieder bis auf die Spannung der blofsen Atmosphäre hinab ausdehnen soll. Also ist hier, ganz wie in (334.),

$$352. \quad M = \pi\Delta^2\sigma\left[(1+\mu)k\left(\log\text{nat}\frac{\lambda}{k}+1\right)-\lambda\right].$$

C. Ist nun k für die Spannung $1+\mu_1$ so bestimmt worden, dafs für *diese* Spannung die möglich-gröfste Wirkung erreicht werde, so mufs nach (340.)

$$353. \quad k = \frac{\lambda}{1+\mu_1}$$

sein. Dies in (352.) gesetzt giebt

$$\overset{2}{M} = \pi \Delta^2 \sigma \left[(1+\mu)\frac{\lambda}{1+\mu_1}(\log\text{nat}(1+\mu_1)+1)-\lambda\right] \text{ oder}$$

$$354. \quad \overset{2}{M} = \frac{\pi\Delta^2\lambda\sigma}{1+\mu_1}[(1+\mu)\log\text{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1].$$

D. Die hier nöthige Masse atmosphärischer Luft ist nach (335.)

$$355. \quad a = \pi\Delta^2(1+\mu)\frac{\lambda}{1+\mu_1},$$

also wird $\overset{2}{M}$ (354.) auch durch

$$356. \quad \overset{2}{M} = \frac{a\sigma}{1+\mu}[(1+\mu)\log\text{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1]$$

ausgedrückt.

E. Liefse man, wie bei der *ersten* Art des Luftwagens, die Cylinder *ganz* mit Luft von der Spannung $1+\mu$ sich füllen, so wäre das Moment für *denselben* Aufwand a von atmosphärischer Luft nach (349. 2.)

$$357. \quad \overset{1}{M} = a\sigma\frac{\mu}{1+\mu}.$$

Aus (356. und 357.) folgt

$$358. \quad \frac{\overset{2}{M}}{\overset{1}{M}} = \frac{1}{\mu}[(1+\mu)\log\text{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1]$$

$$= \log(1+\mu_1)+1+\frac{\log(1+\mu_1)-\mu_1}{\mu}.$$

Das *Sovielfache* ist das Moment für $k=\frac{\lambda}{1+\mu_1}$ von demjenigen für $k=\lambda$.

F. Hätte man z. B. k für $\mu_1=5$ bestimmt, so würde

	Für $\mu=6$,	7,	8,	9,	10
359. $\frac{\overset{2}{M}}{\overset{1}{M}} =$	2,257	2,333	2,390	2,435	2,471

sein; woraus erhellet, dafs es immer noch vortheilhaft ist, die Cylinder nicht *ganz* mit zusammengeprefster Luft von der für die Zugkraft nöthigen Spannung $1+\mu$ sich füllen zu lassen, sondern ihren Zutritt so abzuschneiden, dafs für irgend eine *geringere* Spannung $1+\mu_1$ die möglich-gröfste Wirkung erlangt werde.

G. Die *Grenze* des zu erlangenden Vortheils ist, für $\mu = \infty$, zufolge (358.),

$$360. \quad \frac{\overset{3}{M}}{\overset{1}{M}} = \log(1+\mu_1)+1,$$

also um so kleiner, je kleiner μ_1 ist. Für das obige $\mu_1 = 5$ ist die Grenze 2,791; für $\mu_1 = 2$ ist sie 1,693.

Zweiter Fall $\mu < \mu_1$.

H. Auch für diesen Fall pafst der Ausdruck (334.), aber nicht mehr für den *ganzen* Kolbenlauf λ, sondern zunächst nur für den *Theil* x des Kolbenlaufs, für welchen die Spannung der hinter dem Kolben sich ausdehnenden Luft bis zu der Spannung 1 der Atmosphäre hinabgesunken ist, also nur bis zu

$$361. \quad x = (1+\mu)k;$$

denn es ist $\frac{x}{k} = \frac{1+\mu}{1}$. Es ist also in (334.) $(1+\mu)k$ statt λ zu setzen. Dieses giebt $\overset{3}{M}_1 = \pi \Delta^2 \sigma[(1+\mu)k(\log \text{nat}(1+\mu)+1)-(1+\mu)k]$ oder

$$362. \quad \overset{3}{M}_1 = \pi \Delta^2 \sigma(1+\mu)k \log \text{nat}(1+\mu).$$

I. Zu diesem Moment kommt noch dasjenige für den übrigen Theil $\lambda-(1+\mu)k$ des Kolbenlaufs hinzu, bei welchem die Luft eine *geringere* Spannung als 1 hat.

Die auf den Kolben wirkende Kraft wird auch hier, ganz wie in (330.), durch

$$363. \quad p = \tfrac{1}{2}\pi \Delta^2 \sigma\left[(1+\mu)\frac{k}{x}-1\right]$$

ausgedrückt, also ist auch, eben wie in (332.),

$$364. \quad \overset{3}{M}_2 = \tfrac{1}{2}\pi \Delta^2 \sigma[(1+\mu)k \log \text{nat}\, x - x] + \text{Const.},$$ für *einen* Cylinder.

Nur ist dieses Moment nicht wie dort für $x = k$, sondern für $x = (1+\mu)k$ gleich Null und für $x = \lambda$ vollständig: also ist hier

$$\text{Const.} = \tfrac{1}{2}\pi \Delta^2 \sigma[(1+\mu)k-(1+\mu)k \log \text{nat}(1+\mu)k] \quad \text{und}$$

$$365. \quad \overset{3}{M}_2 = \pi \Delta^2 \sigma\left[(1+\mu)k \log \text{nat}\frac{\lambda}{(1+\mu)k}+(1+\mu)k-\lambda\right]$$

für *beide* Cylinder.

K. Dieses Moment, zu dem (362.) gethan, giebt.

$$366. \quad \overset{3}{M} = \overset{3}{M}_1+\overset{3}{M}_2 = \pi \Delta^2 \sigma\left[(1+\mu)k \log \text{nat}\frac{\lambda}{k}+(1+\mu)k-\lambda\right]$$
$$= \pi \Delta^2 \sigma\left[(1+\mu)k\left(\log \text{nat}\frac{\lambda}{k}+1\right)-\lambda\right],$$

und hierin das für die der Spannung μ_1 entsprechende möglich-gröfste Wirkung eingerichtete $k=\frac{\lambda}{1+\mu_1}$ gesetzt, giebt

$$\overset{3}{M} = \pi \Delta^2 \sigma \left[\frac{1+\mu}{1+\mu_1} \lambda (\log \operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)-\lambda\right] \text{ oder}$$

367. $$\overset{3}{M} = \frac{\pi \Delta^2 \lambda \sigma}{1+\mu_1} [(1+\mu)\log \operatorname{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1].$$

L. Dieses ist ***ganz derselbe*** Ausdruck wie der (354.) für den ersten Fall $\mu>\mu_1$. Also ist auch hier, wie in (358.),

368. $$\frac{\overset{3}{M}}{\overset{1}{M}} = \frac{1}{\mu}[(1+\mu)\log \operatorname{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1].$$

Dieses giebt in dem obigen Beispiel (*F.*), wo $\mu_1=5$ angenommen wurde,

369. $$\frac{\overset{3}{M}}{\overset{1}{M}} = \begin{matrix} \text{Für } \mu=4 & 3 & 2 & 1 \\ 1{,}989 & 1{,}722 & 1{,}187 & -0{,}4166. \end{matrix}$$

Also ist auch hier wieder noch bei der ***zweiten*** Anordnung des Luftwagens Vortheil. Schon für $\mu=1$ indessen giebt die Luft bei der zweiten Anordnung ***gar keine*** Triebkraft mehr, sondern $\overset{3}{M}$ (369.) ist negativ.

M. Da der Ausdruck des Moments der Wirkung der zusammengeprefsten Luft auf die Umdrehung der Kurbel in den beiden Fällen $\mu>\mu_1$ und $\mu<\mu_1$ zufolge (354. und 367.) völlig ***derselbe*** ist, so ist ***allgemein***, für ***jedes beliebige*** μ,

370. $$M = \frac{\pi \Delta^2 \lambda \sigma}{1+\mu_1} [(1+\mu)\log \operatorname{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1]$$

das Moment der Wirkung auf die Kurbel der bis auf die Spannung $1+\mu$ zusammengeprefsten und auf die Länge $k=\frac{\lambda}{1+\mu_1}$ in die Cylinder eingelassenen Luft für ***einen Umlauf der Triebräder***, und die dazu nöthige Luftmasse ist nach (355.)

371. $a = \pi \Delta^2 \lambda \frac{1+\mu}{1+\mu_1}$ C. F. von der Spannung 1 der Atmosphäre.

Ehe diese Ausdrücke auf die Zugkraft für den fortzubewegenden Wagenzug angewendet werden, ist noch zu untersuchen, wie es sich verhalten werde, wenn die in die Cylinder hinter die Kolben tretende Luft nicht aus dem Behälter für die ***zusammengeprefste*** Luft, sondern aus der ***Atmosphäre*** genommen wird.

48.

A. Wird die in dem Cylinder den Raum *AC* (Fig. 19.) füllende Luft aus der *Atmosphäre* genommen, und tritt sie durch die Canäle 3 und 4, *eben* wie in dem Falle, wo *zusammengepreſste* Luft aus dem Behälter den Raum *AC* füllt, auch wieder *ins Freie* aus, was der in (§. 45. *E.*) beschriebene Fall ist, so ist gegen das Obige in (§. 47.) weiter kein Unterschied, als daſs hier die Spannung $1+\mu$ der in *AC* tretenden Luft $=1$, also $\mu=0$ ist. Der Ausdruck (370.) giebt also das Moment, wenn man darin $\mu=0$ setzt. Das Moment ist demnach

$$372. \quad M=\frac{\pi\Delta^2\lambda\sigma}{1+\mu_1}(\log\text{nat}(1+\mu_1)-\mu_1).$$

Dasselbe ist *immer negativ,* da für *jedes* $\mu_1>0$, $\log\text{nat}(1+\mu_1)<\mu_1$ ist. Also hat der Luftwagen für $\mu=0$ nicht eine fortziehende, sondern für *jedes* μ_1 eine *hemmende* Kraft.

B. Schnitte man den Zutritt der äuſsern Luft in die Cylinder *ganz ab, verschlösse* also die Röhre *V*, lieſse aber die Röhre *X* *offen,* nach (§. 45. *H.*), so würde hinter den Kolben *gar kein* Druck wirken, dagegen fortwährend *ihm entgegen* die Spannung der *Atmosphäre.* Auch hier wäre also kein Unterschied weiter gegen (§. 47.), als daſs jetzt $1+\mu=0$, folglich $\mu=-1$ ist. Daher giebt der Ausdruck (370.), wenn man darin $\mu=-1$ setzt, für *diesen* Fall

$$373. \quad M=\frac{\pi\Delta^2\lambda\sigma}{1+\mu_1}(-1-\mu_1)=-\pi\Delta^2\lambda\sigma;$$

welches ebenfalls eine stets *hemmende* Kraft des Luftwagens ausdrückt.

C. Verschlösse man beide Röhren *V* und *X* nach (§. 45. *I.*), so würde den Kolben *gar* keine Kraft treiben, weder vor, noch zurück. Also wäre in diesem Fall das Moment

$$374. \quad M=0.$$

Der Luftwagen treibt in diesem Fall weder den Wagenzug fort, noch hemmt er ihn.

D. Lieſse man endlich die äuſsere Luft durch die Röhre *V* in die Cylinder *eintreten* und durch die Röhre *X* in einen verschlossenen Behälter vom Raum-Inhalt *w* *ausströmen,* so würde es sich auf eine ähnliche Weise wie in (§. 41.) verhalten. Dieser Fall wird am besten erst zu untersuchen sein, wenn die Anwendung des Obigen auf die Zugkraft vorhergegangen ist.

49.

A. Die zur Fortbewegung eines Wagenzuges vom Gewicht Q nöthige *Zugkraft* ist

$$375. \quad Z = Q(n + \tan\beta) \quad (103.).$$

Von dieser Kraft getrieben, durchläuft der Wagenzug bei jedem Umlauf der Triebräder des Luftwagens den Raum πD, also ist das *Moment* der Kraft Z,

$$376. \quad = Z\pi D = Q\pi D(n + \tan\beta).$$

Dieses Moment mufs dem M (370.) der Kraft des Luftwagens *gleich*, also

$$Z\pi D = Q\pi D(n + \tan\beta) = \frac{\pi\Delta^2\lambda\sigma}{1+\mu_1}[(1+\mu)\log\text{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1]$$

oder

$$377. \quad zD = QD(n + \tan\beta) = \frac{\Delta^2\lambda\sigma}{1+\mu_1}[(1+\mu)\log\text{nat}(1+\mu_1)+\mu-\mu_1]$$

sein.

B. Es käme nun zunächst in (377.) auf die *Bestimmung* von μ_1 an, oder auf welchen *Theil* $k = \frac{\lambda}{1+\mu_1}$ (340.) des Kolbenlaufs man den Zutritt der Luft in die Cylinder abschneiden wolle, damit *gerade für diese Spannung* $1+\mu_1$ nach (§. 46. *G.*) die Wirkung der in die Cylinder eingelassenen zusammengeprefsten Luft ein *Maximum* sei.

Es ist keineswegs *nothwendig*, $k = \frac{\lambda}{1+\mu_1}$ gerade für die *stärkste* Luftspannung, welche fur den *stärksten* auf der Bahn vorkommenden Abhang nöthig sein mag, zu bestimmen: denn das Maximum der Wirkung ist doch immer nur für die *eine bestimmte* Spannung $1+\mu_1$ zu erreichen; für jede andere, stärkere oder schwächere Spannung findet *nicht* die möglich-gröfste Wirkung Statt. Es kommt nur darauf an, dafs in dem Behälter diejenige Spannung $1+\mu$ *vorhanden* sei, die für ein schon bestimmtes μ_1 und k nothwendig ist, um den *stärksten* vorkommenden Abhang zu ersteigen. Wollte man das Maximum der Wirkung *überhaupt* haben, worauf es eigentlich ankommt, so müfste man μ_1 und folglich k so bestimmen, dafs der *Gesammtbedarf* an Luft für die *ganze Fahrt*, nach den verschiedenen Abhängen der Bahn berechnet, ein *Minimum* sei.

Es kann also einstweilen μ_1 als nach andern Rücksichten schon bestimmt vorausgesetzt werden, und es kommt dann auf die nöthige Spannung $1+\mu$ für die *verschiedenen* Abhänge β an, um daraus den Gesammtbedarf an Luft für das einmal angenommene μ_1 zu finden.

C. Aus (377.) ergiebt sich

$$(1+\mu_1)QD(n+\tang\beta) = \Delta^2\lambda\sigma[(1+\mu)\log\text{nat}(1+\mu_1)+1+\mu-(1+\mu_1)]$$

oder

$$(1+\mu_1)[QD(n+\tang\beta)+\Delta^2\lambda\sigma] = (1+\mu)\Delta^2\lambda\sigma[\log\text{nat}(1+\mu_1)+1], \quad \text{also}$$

378. $$(1+\mu) = (1+\mu_1)\frac{QD(n+\tang\beta)+\Delta^2\lambda\sigma}{\Delta^2\lambda\sigma(\log\text{nat}(1+\mu_1)+1)}$$
$$= \frac{1+\mu_1}{\log\text{nat}(1+\mu_1)+1}\left[1+\frac{QD(n+\tang\beta)}{\Delta^2\lambda\sigma}\right].$$

Wäre z. B., wie weiter oben, $Q=1800.110$, $D=5$ F., $\Delta=1$ F., $\lambda=\frac{1}{2}$ F. und hätte man μ_1 wie in (§. 47. *G.*) $=5$ gesetzt, so wäre, wenn z. B. der gröfste in der Bahn vorkommende Abhang $\tang\beta=\frac{1}{40}=0{,}025$ betrüge, für diesen Abhang

379. $$1+\mu = \frac{6}{1{,}7917+1}\left[1+\frac{1800.110.5(0{,}004+0{,}025)}{1.\frac{1}{2}.18.110}\right]$$
$$= 25{,}5 \text{ Atmosphären für } \mu_1=5.$$

Betrüge der stärkste Abhang nur 1 auf 100, so wäre

380. $$1+\mu = 13{,}4 \text{ Atmosphären für } \mu_1=5.$$

D. Es giebt zwei Mittel, die für den *stärksten* Abhang nothwendige Luftspannung zu *vermindern.* Man kann entweder μ_1 anders annehmen, oder man kann Δ und λ, also die Cylinder, *gröfser* machen; denn auch durch das Letztere wird, wie aus (378.) zu sehen, $1+\mu$ *kleiner.*

E. Bei dem *Ersteren* käme es darauf an, für welches μ_1 der Factor $\frac{1+\mu_1}{\log(1+\mu_1)+1}$ in (378.) ein Minimum sei. Die erste und zweite Differentiation dieses Bruchs geben

381. $$\frac{1}{\log(1+\mu_1)+1}-\frac{1}{(\log(1+\mu_1)+1)^2} = 0 \quad \text{und}$$

382. $$-\frac{1}{(1+\mu)_1(\log(1+\mu_1)+1)^2}+\frac{2}{(1+\mu_1)(\log(1+\mu_1)+1)^3}$$
$$= \frac{2-(\log(1+\mu_1)+1)}{(1+\mu_1)(\log(1+\mu_1)+1)^3}.$$

Aus (381.) folgt $\log(1+\mu_1)+1-1=0$, also $\log(1+\mu_1)=0$ und $\mu_1=0$, und dies in (382.) gesetzt giebt $\frac{2-1}{1.1}=+1=$ einer *positiven* Gröfse, so dafs also $\mu_1=0$ wirklich ein *Minimum* giebt. Man müfste also $k=\frac{\lambda}{1+0}=\lambda$ machen, das heifst, wie bei der *ersten* Art des Luftwagens, die zusammen-

geprefste Luft auf die *ganze* Länge des Kolbenlaufs in die Cylinder eintreten lassen. Man würde indessen dadurch nicht viel gewinnen, denn alsdann wäre in (378.)

$$383.\quad 1+\mu = 1+\frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta)}{\Delta^2\lambda\sigma},$$

und dies giebt in den beiden obigen Beispielen immer noch

384. $\begin{cases} 1.\quad 1+\mu = 12{,}87 \text{ Atmosphären für } \beta=\frac{1}{40} \text{ und } \mu_1=0 \text{ und} \\ 2.\quad 1+\mu = 4{,}2 \text{ - - - für } \beta=\frac{1}{100} \text{ und } \mu_1=0; \end{cases}$

dagegen aber ginge der Gewinn verloren, dafs für einen andern schwächeren Abhang die Wirkung ein *Maximum* sei.

F. Das *andere* Mittel, die Cylinder *gröfser* zu machen, ist daher das *bessere.* Vergröfsert man ihren Durchmesser und ihre Länge z. B. nur um den *vierten Theil* und giebt ihnen also 15 statt 12 Zoll Durchmesser und 20 statt 16 Zoll Länge, so beträgt sogleich nur nach (378.)

385. $\begin{cases} 1+\mu = 14{,}1 \text{ Atmosphären für } \beta=\frac{1}{40} \text{ und } \mu_1=0 \text{ und} \\ 1+\mu = 7{,}9 \text{ - - - für } \beta=\frac{1}{100} \text{ und } \mu_1=5. \end{cases}$

G. Die für eine Umdrehung der Triebräder nöthige *Luftmasse* ist nach (371. und 378.)

$$386.\quad a = \pi\Delta^2\lambda\frac{1+\mu}{1+\mu_1} = \pi.\frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta)+\Delta^2\lambda\sigma}{\sigma(\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)}$$

und für die Länge L der Bahn, also für $\frac{L}{\pi D}$ Umläufe der Triebräder,

$$387.\quad S = \frac{L}{D\sigma}.\frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta)+\Delta^2\lambda\sigma}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1}$$
$$= \frac{L}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1}\left[\frac{Q}{\sigma}(n+\operatorname{tang}\beta)+\frac{\Delta^2\lambda}{D}\right].$$

Dieser Ausdruck geht für $\mu_1=0$, oder wenn man, wie bei der *ersten* Art des Luftwagens, die zusammengeprefste Luft auf die *ganze* Länge des Kolbenlaufes in die Cylinder treten läfst, wie gehörig in den für diesen Fall passenden Ausdruck (162.) über.

H. Aus (387.) folgt nun, dafs, welcher auch der Abhang β der Bahn sei, der Luftbedarf immer um so *kleiner* ist, je *gröfser* man μ_1, also je *kleiner* man k annimmt.

Das *gröfste* zuläfsliche μ_1 ist dasjenige μ, welches für den *stärksten* Abhang auf der Bahn, der durch β_m bezeichnet werden mag, nöthig ist. Dieses μ findet sich aus (378.) oder (377.), wenn man daselbst $\mu=\mu_1$ setzt.

Dies giebt z. B. in (377.) $QD(n+\operatorname{tang}\beta_m) = \Delta^2\lambda\sigma \log \operatorname{nat}(1+\mu_1)$, also

$$388. \quad \log \operatorname{nat}(1+\mu_1) = \frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)}{\Delta^2\lambda\sigma}.$$

Will man etwa statt der *natürlichen* Logarithmen die *Briggischen* in Rechnung bringen, so mufs man in (388.) rechterhand mit 0,4343 multipliciren, was

$$389. \quad \log \operatorname{Brigg}(1+\mu_1) = 0{,}4343 \cdot \frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)}{\Delta^2\lambda\sigma}$$

giebt.

Für das erste Beispiel in (*X.*) wäre nach (389.)

$$390. \quad \log \operatorname{Brigg}(1+\mu_1) = 0{,}4343 \cdot \frac{1800\cdot 110\cdot 5\,(0{,}004+0{,}025)}{1\cdot\frac{1}{2}\cdot 18\cdot 110}$$

$= 5{,}1573$, also $1+\mu_1 = 143\,650$ Atmosphären.

Ein solches Maximum ist natürlich nicht zu erreichen; kaum einmal wenn der stärkste Abhang nur gering wäre; z. B. wie auf der Potsdamer Bahn 1 auf 300 betrüge. Schon dann wäre nach (389.)

$$391. \quad \log \operatorname{Brigg}(1+\mu_1) = 0{,}4343 \cdot \frac{1800\cdot 110\cdot 5\,(0{,}004+0{,}0033\ \ldots)}{1\cdot\frac{1}{2}\cdot 18\cdot 110}$$

$= 1{,}1937821$, also $1+\mu_1 = 15{,}625$ Atmosphären.

I. Es bleibt daher nur übrig, $1+\mu_1$ *so grofs* anzunehmen, als es die *übrigen Verhältnisse* zulassen. Man kann $1+\mu_1$ so bestimmen, dafs, nachdem man den Cylindern eine angemessene Gröfse, und zwar nach (*C.*) die *möglich-gröfsten* Maafse gegeben hat, die für den stärksten Abhang β_m nöthige Spannung $1+\mu$, welche zum Unterschiede durch $1+\mu_m$ bezeichnet werden mag, *nicht zu grofs* sei. Für diese Bestimmung giebt (378), da

$\log \operatorname{nat}(1+\mu_1) = 2{,}3026 \log \operatorname{Brigg}(1+\mu_1)$ ist,

$$392. \quad \frac{1+\mu_1}{1+2{,}3026\log\operatorname{Brigg}(1+\mu_1)} = \frac{(1+\mu_m)\Delta^2\lambda\sigma}{QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)+\Delta^2\lambda\sigma} = \frac{1+\mu_1}{1+\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)};$$

woraus $1+\mu_1$ zu suchen ist, nachdem $1+\mu_m$, Δ und λ im Voraus bestimmt worden sind.

K. Aber es giebt für $1+\mu_m$, wenn man es im Voraus annehmen will, um vermittels (392.) μ_1 zu finden, eine *Grenze, unter* welcher sein Werth nicht liegen kann. Da nemlich in dem Ausdruck (378.) der *kleinste* Werth des Factors $\frac{1+\mu_1}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1}$ nach (*E.*) für $\mu_1 = 0$ Statt findet und 1 ist, für jedes gröfsere μ_1 also der Factor und folglich auch nach (378.) $1+\mu$ *gröfser* ist, so ist der möglich-*kleinste* Werth von $1+\mu$ in (378.)

$$393. \quad 1+\mu_m = 1+\frac{QD(n+\text{tang}\,\beta_m)}{\Delta^2\lambda\sigma},$$

und *kleiner* darf $1+\mu_m$ für den stärksten Abhang β_m in (392.) rechts nicht angenommen werden, wenn man aus (392.) μ_1 für $k=\frac{\lambda}{1+\mu_1}$ sucht, sondern nur *gröfser*.

Da indessen μ_1 aus (392.) nur vermittels unendlicher Reihen oder durch Proben gefunden werden kann, so wird es in der Ausübung leichter sein, umgekehrt für μ_1 im Voraus einige Werthe anzunehmen und nach der Formel (378.), die für den gröfsten Abhang β_m,

$$394. \quad 1+\mu_m = \frac{1+\mu_1}{\log\text{nat}(1+\mu_1)+1}\left[1+\frac{QD(n+\text{tang}\,\beta_m)}{\Delta^2\lambda\sigma}\right]$$

giebt, und nach welcher sich leicht rechnen läfst, zu sehen, ob μ_m nicht zu grofs ausfalle.

L. Wenn man die zusammengeprefste Luft, wie bei der *ersten* Art des Luftwagens, während des *ganzen* Kolbenlaufs in die Cylinder treten läfst, so ist der Luftbedarf auf die Länge L einer Eisenbahn mit dem Abhange β, welcher Luftbedarf durch ${}^2S$ bezeichnet werden mag, nach (162.)

$$395. \quad {}^2S = L\left[\frac{Q}{\sigma}(n+\text{tang}\,\beta)+\frac{\Delta^2\lambda}{D}\right].$$

Läfst man dagegen die Luft nur während des Theils $k=\frac{\lambda}{1+\mu_1}$ des Kolbenlaufs in die Cylinder treten, so ist der Luftbedarf, den ${}^1S$ bezeichnen mag, nach (387.)

$$396 \quad {}^1S = \frac{L}{\log\text{nat}(1+\mu_1)+1}\left[\frac{Q}{\sigma}(n+\text{tang}\,\beta)+\frac{\Delta^2\lambda}{D}\right].$$

Also ist

$$397. \quad {}^1S = \frac{{}^2S}{\log\text{nat}(1+\mu_1)+1},$$

das heifst: der Luftbedarf ist im letztern Fall nur der $[\log\text{nat}(1+\mu_1)+1]$te *Theil* dessen im ersten Fall. Es ist

398.

Für $\mu_1 =$	0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
$\log\text{nat}(1+\mu_1)+1 =$	1	1,693	2,097	2,386	2,609	2,792	2,946	3,079	3,197	3,302	3,398,
$\frac{1}{\log\text{nat}(1+\mu_1)+1} =$	1	0,5907	0,4768	0,4191	0,3833	0,3581	0,3394	0,3248	0,3128	0,3028	0,2943.

Hieraus erhellet, welche bedeutende Ersparung an Kraft die zweite Art des Luftwagens gegen die erste gewährt.

50.

A. Wenn bei der *ersten* Art von Luftwagen *keine* Zugkraft Z nöthig ist, nemlich wenn die Bahn um $\tang\beta = n = \frac{1}{250}$ *fällt*, kann man statt zusammengedrückter Luft aus dem Behälter die äufsere atmosphärische Luft in die Cylinder treten und sie aus denselben nicht in einen kleinen verschlossenen Behälter w, sondern ins Freie wieder ausströmen lassen; alsdann hat der Luftwagen weder *Zugkraft*, noch *Hemmkraft*. Sowohl der Wagenzug, als der Luftwagen selbst, rollen dann, blofs von der Kraft der Schwere getrieben, von selbst den Abhang hinab.

B. Nicht so verhält es sich unbedingt, wenn vor den Wagenzug auf dem Abhange $n = \frac{1}{250}$ ein Luftwagen *zweiter* Art gespannt ist. Nur dann würde es der Fall sein, wenn man nach (§. 45. *I.*) die Röhren V und X (Fig. 19.), so wie der Wagen an den Abhang $\tang\beta = n$ gelangt, augenblicklich *beide* verschlösse; welches in der Praxis mehr oder weniger Schwierigkeiten haben dürfte.

In der Regel wird nur die Röhre V, deren Verschlufshahn der Wagenführer ganz in der Gewalt hat, entweder der äufsern Luft geöffnet, oder auch ihr verschlossen werden können, die Röhre X aber wird offen bleiben müssen; das heifst, der Zutritt der Luft in die Cylinder wird entweder der atmosphärischen statt der zusammengedrückten Luft aus dem Behälter geöffnet, oder auch der Zutritt der Luft in die Cylinder wird ganz abgeschnitten werden können; der Austritt der Luft *vor* den Kolben dagegen wird offen bleiben.

C. In beiden Fällen hat der Luftwagen *zweiter* Art *unvermeidlich* eine *Hemmkraft*, deren Moment nach (372. und 373.) für einen Triebrad-Umlauf

399. $M = \frac{\pi\Delta^2\lambda\sigma}{1+\mu_1}(\log\text{nat}(1+\mu_1)-\mu_1)$ ist,

wenn die Röhren V und X beide offen sind, und

400. $M = -\pi\Delta^2\lambda\sigma$, wenn V verschlossen und X offen ist.

Und da nun das Moment des Luftwagens *immer* dem Momente $Z\pi D = Q\pi D(n+\tang\beta)$ (376.) der Zugkraft gleich sein mufs, so folgt aus (399. und 400.)

401. $Q\pi D(n+\tang\beta) = \frac{\pi\Delta^2\lambda\sigma}{1+\mu_1}(\log\text{nat}(1+\mu_1)-\mu_1)$ und

402. $Q\pi D(n+\tang\beta) = -\pi\Delta^2\lambda\sigma$,

und daraus

403. $\operatorname{tang}\beta = \frac{\Delta^2\lambda\sigma}{(1+\mu_1)QD}[\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)-\mu_1]-n,$

wenn *V* und *X* beide offen sind und

404. $\operatorname{tang}\beta = -\frac{\Delta^2\lambda\sigma}{QD}-n,$ wenn *V* verschlossen und *X* offen ist.

Also nicht auf dem Abhange $\operatorname{tang}\beta = -n$, sondern erst auf den durch (403. und 404.) ausgedrückten Abhängen rollt hier der Wagenzug, mit dem Luftwagen davor, von der Kraft der Schwere getrieben, frei hinab. In beiden Fällen wird weder dem Behälter zusammengeprefste Luft entzogen, noch in den Behälter *w* Luft eingepumpt.

In dem obigen Beispiele $Q = 1800.110$, $D = 5$, ist

405. $\begin{cases} 1. \quad \frac{\Delta^2\lambda\sigma}{QD} = \frac{(\frac{3}{4})^2\cdot 1\cdot 18\cdot 110}{1800\cdot 110\cdot 5} = 0{,}001125 \text{ für } \Delta = \frac{3}{4} \text{ und } \lambda = 1 \text{ und} \\ 2. \quad \frac{\Delta^2\lambda\sigma}{QD} = \frac{1^2\cdot\frac{4}{3}\cdot 18\cdot 110}{1800\cdot 110\cdot 5} = 0{,}00266 \text{ für } \Delta = 1 \text{ und } \lambda = \frac{4}{3} \end{cases}$

Dieses giebt in (403. und 404.) z. B. für $\mu_1 = 5$:

406. $\begin{cases} 1. \quad \operatorname{tang}\beta = 0{,}004613 \text{ für } \Delta = \frac{3}{4} \text{ und } \lambda = 1 \text{ und} \\ 2. \quad \operatorname{tang}\beta = 0{,}00543 \text{ für } \Delta = 1 \text{ und } \lambda = \frac{4}{3} \end{cases},$

wenn *V* und *X* beide offen sind, und

407. $\begin{cases} 1. \quad \operatorname{tang}\beta = 0{,}00511 \text{ für } \Delta = \frac{3}{4} \text{ und } \lambda = 1 \text{ und} \\ 2. \quad \operatorname{tang}\beta = 0{,}00666 \text{ für } \Delta = 1 \text{ und } \lambda = \frac{4}{3} \end{cases},$

wenn *V* verschlossen und *X* offen ist.

Erst auf diesen Abhängen darf man der *zusammengeprefsten* Luft aus dem Behälter den Zutritt in die Cylinder verschliefsen. Für schwächere Abhänge ist immer noch *zusammengeprefste* Luft nöthig. Will man sie schon, wie bei der *ersten* Art des Luftwagens, auf dem Abhange $n = 0{,}004$ ersparen, so mufs man die Röhren *V* und *X* *beide* verschliefsen können.

So bedarf also zwar der Luftwagen *zweiter* Art noch *zusammengeprefster* Luft, wenn der Wagen *erster* Art ihrer schon entbehren kann; doch ist der Unterschied, wie man sieht, nicht grofs; und dagegen dient der *zweite* Luftwagen auch auf etwas stärkeren Abhängen sogleich zur *Hemmung;* in dem Fall (407. 2.) sogar noch auf dem Abhange $0{,}00666 = 1$ auf 150.

51.

Auf *stärkeren* Abhängen als die (403. und 404.) wird atmosphärische Luft in den Behälter *B eingepumpt;* aber hier nicht bei jedem Triebrad-

Umlauf so viel als 4 *ganze* Cylinder fassen, sondern nach (§. 45. *F.*) nur so viel als 4mal ***den Raum AC*** füllen, also $4\cdot\frac{1}{4}\pi\varDelta^2 k = \frac{\pi\varDelta^2\lambda}{\mu_1+1}$ (340.) Cub. F., mithin ist auf die Länge L, auf welche $\frac{L}{\pi D}$ Rad-Umläufe gehen,

$$408.\quad S_3 = L\frac{\varDelta^2\lambda}{(\mu_1+1)D} \text{ C. F. atmosphärische Luft.}$$

Dieser Ausdruck geht für $\mu_1 = 0$, wie gehörig, in den (171.) für die *erste* Art des Luftwagens über.

52.

A. Mit der zur Hervorbringung der Geschwindigkeit c der Fahrt beim Anfange derselben nöthigen Luftmasse verhält es sich ganz ähnlich, wie bei dem Luftwagen *erster* Art. Die Rechnungen in (§. 36.) bleiben bis zu (§. 36. *I.*) ganz dieselben wie dort; denn die dortigen Resultate gelten, wie in (§. 36. *H.*) bemerkt, eben sowohl, wenn der auf die Kolben wirkende Luftdruck p, wie hier, *veränderlich*, als wenn derselbe, wie dort, *constant* ist. Es ist also hier, wie dort in (202.),

$$409.\quad \frac{c^2}{4g} = H_2 = \frac{2LD}{\pi\lambda^2 L}(X_2 - X_0 - \tfrac{1}{2}\pi ZD),$$

wo X_0 und X_2 die Werthe des Integrals von $p\,\partial x$ für $x = 0$ und $x = 2r = \lambda$ bezeichnen, also nichts anderes als den Werth von $\frac{1}{2}M$ in (150. und 334.).

B. Der Unterschied ist nur, dafs in (§. 36.) nach (205.) $X_2 - X_0 = \frac{1}{2}\pi\varDelta^2\lambda\mu\sigma$, hier nach (334.)

$$410.\quad X_2 - X_0 = \tfrac{1}{2}M = \tfrac{1}{2}\pi\varDelta^2\sigma\left[(1+\mu)k\left(\log\text{nat}\frac{\lambda}{k}+1\right)-\lambda\right]$$

ist. Es ist also statt (206., §. 36.) hier

$$411.\quad \frac{c^2}{4g} = H_2 = \frac{LD}{\lambda^2 Q}\left[\varDelta^2\sigma\left((1+\mu)k\left(\log\text{nat}\frac{\lambda}{k}+1\right)-\lambda\right)-ZD\right].$$

C. Bei jedem Umlauf der Triebräder werden hier nicht, wie bei dem Luftwagen erster Art, nach (§. 36. *K.*) vier *ganze* Cylinder voll, sondern nur $4.\frac{1}{4}\pi\varDelta^2 k = \pi\varDelta^2 k$ Cub. F. Luft von der Spannung $1+\mu$, also nur $\pi(1+\mu)\varDelta^2 k$ C. F. atmosphärische Luft verbraucht. Dieses thut für $m = \frac{L}{\pi D}$ Umläufe, also für die Länge L,

$$412.\quad S_4 = \frac{L}{\pi D}(1+\mu)\pi\varDelta^2 k = \frac{L\varDelta^2 k}{D}(1+\mu) \text{ C. F. atmosphärische Luft.}$$

D. Aus (411.) folgt

$$413.\quad L = \frac{c^2}{4g}\cdot\frac{\lambda^2 Q}{D\left[\Delta^2\sigma\left((1+\mu)k\left(\log\operatorname{nat}\frac{\lambda}{k}+1\right)-\lambda\right)-ZD\right]}.$$

Dies, in (412.) gesetzt, giebt

$$414.\quad S_4 = \frac{c^2}{4g}\cdot\frac{\lambda^2\Delta^2 Q k(1+\mu)}{D^2\left[\left((1+\mu)k\left(\log\operatorname{nat}\frac{\lambda}{k}+1\right)-\lambda\right)\Delta^2\sigma-ZD\right]}.$$

In diesem Ausdruck, der für $k=\lambda$ wie gehörig in (209.) übergeht, ist Z die Zugkraft, welche *gerade an der Stelle* der Bahn nöthig ist, wo die Geschwindigkeit c hervorgebracht werden soll, und μ ist die volle Spannung der Luft in dem grofsen Behälter, also diejenige μ_m, welche für den *stärksten* Abhang β_m der Bahn nöthig ist.

E. Ist k so bestimmt worden, dafs die Maschine für die Spannung μ_1 die gröfste Wirkung hat, so mufs nach (340. oder 353.)

$$415.\quad k = \frac{\lambda}{1+\mu_1}$$

sein; also giebt (414.)

$$416.\quad S_4 = \frac{c^2}{4g} : \frac{\lambda^3\Delta^2 Q\cdot\frac{1+\mu_m}{1+\mu_1}}{D^2\left[\left(\frac{1+\mu_m}{1+\mu_1}\lambda(\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)-\lambda\right)\Delta^2\sigma-ZD\right]}.$$

Nun ist nach (292.)

$$417.\quad \frac{1+\mu_m}{1+\mu_1} = \frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)+\Delta^2\lambda\sigma}{\Delta^2\lambda\sigma(\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)},$$

also ist in (416.)

$$S_4 = \frac{c^2}{4g} : \frac{\lambda^3\Delta^2 Q\frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)+\Delta^2\lambda\sigma}{\Delta^2\lambda\sigma(\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)}}{D^2[QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)+\Delta^2\lambda\sigma-\Delta^2\lambda\sigma-ZD]}\quad\text{oder}$$

$$418.\quad S_4 = \frac{c^2}{4g}\cdot\frac{Q\lambda^2(QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)+\Delta^2\lambda\sigma)}{D^2\sigma(Q(n\operatorname{tang}\beta_m)-Z)(\Delta\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)}.$$

Bezeichnet man den Abhang, an der Stelle, wo die Geschwindigkeit c hervorgebracht werden soll, durch β_2, so ist;

$$419.\quad Z = Q(n+\operatorname{tang}\beta_2)\quad(103.)$$

und dies, in (418.) gesetzt, giebt

$$420.\quad S_4 = \frac{c^2}{4g}\cdot\frac{\lambda^2(QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)+\Delta^2\lambda\sigma)}{D^2\sigma(\operatorname{tang}\beta_m-\operatorname{tang}\beta_2)(\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)}.$$

Dieses geht für $\mu_1=0$ oder $k=\lambda$ (415.) wie gehörig in (215.) über. Das

gegenwärtige S_4 ist das $\frac{1}{\log \text{nat}(1+\mu_1)+1}$ fache desjenigen (215.) für die *erste* Art von Luftwagen: also auch hier ist die *zweite* Art vortheilhafter, als die erste.

c. Wirkung des Einpumpens der Luft auf starken Abhängen auf das Hemmen.

53.

A. Die Rechnungen sind im wesentlichen auch hier dieselben wie die (§. 42.) bei der *ersten* Art von Luftwagen; nur mit dem Unterschiede, dafs hier bei jedem Umlaufe der Triebräder nicht wie dort 4 Cylinder voll atmosphärische Luft, sondern nach (§. 45. *F.*) nur so viel atmosphärische Luft als 4mal den Raum *AC* (Fig. 19.) füllt, also statt $4.\frac{1}{4}\pi\Delta^2\lambda$ (§. 42. *C.*) nur $4.\frac{1}{4}\pi\Delta^2 k = \pi\Delta^2 k$ atmosphärische Luft in den Behälter *B* eingepumpt wird. Man kann daher annehmen, dafs sich nach *m* Umläufen der Triebräder und nachdem bei dem $m+1$ten Umlaufe der eine Kolben noch den Raum u_1, der andere den Raum u_2 (269. und 270.) durchlaufen hat, nicht nach (274.) $(1+\nu)B+\frac{1}{4}\pi\Delta^2(4m\lambda+u_1+u_2)$, sondern nur

421. $$(1+\nu)B+\tfrac{1}{4}\pi\Delta^2\left(4mk+(u_1+u_2)\frac{k}{\lambda}\right)$$

Cub. F. atmosphärische Luft in den Behälter befinden; denn die den Raum $AC=\frac{1}{4}\pi\Delta^2 k$ füllende atmosphärische Luft ist hier in den Raum $AD=\frac{1}{4}\pi\Delta^2\lambda$ ausgedehnt und hat also nur die Dichtigkeit $\frac{k}{\lambda}$.

B. Daraus folgt, wie in (§. 42. *D.*), dafs die Spannung der Luft im Behälter *B*,

$$\frac{(1+\nu)B+\frac{1}{4}\pi\Delta^2\left(4mk+(u_1+u_2)\frac{k}{\lambda}\right)}{B}=1+\nu+\frac{\frac{1}{4}\pi\Delta^2 k}{\lambda B}(4m\lambda+u_1+u_2)$$

ist, welcher die Spannung 1 der Atmosphäre entgegenwirkt, so dafs also der Druck auf die Kolben statt (275.) hier

422. $$p=\frac{\pi^2\Delta^4\sigma}{8B}\cdot\frac{k}{\lambda}(4m\lambda+u_1+u_2)+\tfrac{1}{4}\nu\pi\Delta^2\sigma$$

gesetzt werden mufs.

C. Übrigens ist hier, ganz wie in (267.),

423. $$-2(X_2-X_0)-\pi ZD=\frac{Q}{4g}(v_1^2-v_0^2),$$

wo *X* das Integral von $p\partial x$ bezeichnet.

Es ändert sich also an den Resultaten in §. 42. weiter nichts, als daſs, auſser Z und $\frac{1}{2}\nu\pi\Delta^2\sigma$, Alles mit $\frac{k}{\lambda}$, welches, wenn k für die Luftspannung μ_1 bestimmt worden ist, nach (340.)

$$424. \quad \frac{k}{\lambda} = \frac{1}{1+\mu_1}$$

ausmacht, *multiplicirt* werden muſs.

D. Es ist demnach statt (299.) hier

$$425. \quad \frac{Q}{4g}(v_0^2 - v_m^2) = L\left[\Delta^2\sigma\frac{2(L-\pi D)\lambda^2 + c\pi D}{4(1+\mu_1)BD^2} + Z + \frac{\nu\Delta^2\lambda\sigma}{2D}\right]$$

und statt (303.)

$$426. \quad \frac{Q}{4g}(v_0^2 - v_m^2) = L\left(Z + \frac{\Delta^4\lambda^2\sigma L}{2(1+\mu_1)BD^2} + \frac{\nu\Delta^2\lambda\sigma}{2D}\right).$$

Statt (307. und 308.) ist hier

$$427. \quad (1+\mu_1)QBD^2(v_0^2 - v_m^2 - 4gL(n+\tang\beta))$$
$$= 2L\Delta^2\sigma g[(L-\pi D)\lambda^2 + \tfrac{1}{2}c\pi D + 2(1+\mu_1)BD\nu\Delta^2\lambda\sigma] \text{ und}$$

$$428. \quad (1+\mu_1)QBD^2(v_0^2 - v_m^2 - 4gL(n+\tang\beta))$$
$$= 2gL\Delta^2\lambda\sigma(L\Delta^2\lambda + (1+\mu_1)\nu BD).$$

Statt (309.) ist hier

$$429. \quad v_m^2 = v_0^2 - 4gL(n+\tang\beta) - \frac{2gL\Delta^2\lambda\sigma(L\Delta^2\lambda + (1+\mu_1)\nu BD)}{(1+\mu_1)D^2BQ}.$$

Statt (310. 311. und 312.) ist

$$430. \quad B = \frac{2gL^2\Delta^4\lambda^2\sigma}{(1+\mu_1)D(DQ(v_0^2 - v_m^2 - 4gL(n+\tang\beta)) - 2gL\Delta^2\lambda\nu\sigma)} \text{ und}$$

$$431. \quad B = -\frac{L\Delta^4\lambda^2\sigma}{D(1+\mu_1)(2(n+\tang\beta)DQ + \Delta^2\lambda\nu\sigma)} \text{ für } v_m = v_0,$$

$$432. \quad B = \frac{2gL^2\Delta^4\lambda^2\sigma}{(1+\mu_2)D(DQ(v_0^2 - 4gL(n+\tang\beta)) - 2gL\Delta^2\lambda\nu\sigma)} \text{ für } v_m = 0.$$

Statt (313. 314. und 315.) ist hier

$$433. \quad L = -\frac{(1+\mu_1)BD}{\Delta^4\lambda^2\sigma}\Big[QD(n+\tang\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\nu\sigma$$
$$\pm\sqrt{\left((QD(n+\tang\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma)^2 + (v_0^2 - v_m^2)\frac{Q\Delta^4\lambda^2\sigma}{2g(1+\mu_1)B}\right)}\Big],$$

$$434. \quad L = -\frac{2(1+\mu_1)BD}{\Delta^4\lambda^2\sigma}(QD(n+\tang\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma) \text{ für } v_m = v_0,$$

$$435. \quad L = -\frac{(1+\mu_1)BD}{\Delta^4\lambda\sigma}\Big[QD(n+\tang\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma$$
$$\pm\sqrt{\left((QD(n+\tang\beta) + \tfrac{1}{2}\Delta^2\lambda\nu\sigma)^2 + v_0^2\frac{Q\Delta^4\lambda^2\sigma}{2g(1+\mu_1)B}\right)}\Big] \text{ für } v_m = 0.$$

E. Die Spannung s, über die der Atmosphäre hinaus, auf welche die Luft im Hemmbehälter zusammengeprefst wird, ist nach m Umläufen der Kurbel nach (A. und B.) hier

436. $$s = \frac{m\pi\Delta^2 k}{B} + \nu = \frac{L}{\pi D} \cdot \frac{\pi\Delta^2\lambda}{(1+\mu_1)B} + \nu \text{ (298. u. 340.)} = \frac{L\Delta^2\lambda}{(1+\mu_1)DB} + \nu_1,$$

und hierin die Ausdrücke von B (430. 431. und 432.) gesetzt, giebt ähnliche Werthe von s wie die (317. 318. und 319.).

d. Übersicht der Resultate für die zweite Art von Luftwagen.

54.

A. Für *alle* Abhänge der Bahn, die *nicht kleiner sind* als

437. $$\tan\beta = \frac{\Delta^2\lambda\sigma}{(1+\mu_1)QD}[\log\text{nat}(1+\mu_1) - \mu_1] - n,$$

wenn die Röhren V und X (§. 19.) beide offen sein sollen (403.) und

438. $$\tan\beta = -\frac{\Delta^2\lambda\sigma}{QD} - n,$$ wenn V verschlossen und X offen sein soll (404.)

und die *immer* kleiner sind als $-n$, ist *zusammengeprefste Luft* aus dem grofsen Behälter zum Forttreiben des Wagenzuges nöthig, und zwar nach (397. und 398.) nur

439. $$\frac{1}{\log\text{nat}(1+\mu_1)+1} =$$

Für $\mu = 0$	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1,	0,5907,	0,4768,	0,4191,	0,3833,	0,3581,	0,3394,	0,3248,	0,3128,	0,3028,	0,2943

mal so viel, als für die *erste* Art von Luftwagen, nemlich

440. $$S_1 = \frac{L}{\log\text{nat}(1+\mu_1)+1}\left[\frac{Q}{\sigma}(n+\tan\beta) + \frac{\Delta^2\lambda}{D}\right]$$ C. F. atmosphärische Luft (387.).

B. Auf den Abhängen (437. und 438.) rollt der Wagenzug nebst dem Luftwagen blofs von der Kraft der Schwere getrieben den Abhang hinab. Man wird dies natürlich schon auf dem *schwächsten* der beiden Abhänge geschehen lassen, um so bald als möglich *zusammengeprefste* Luft zu sparen. Der *schwächste* von den beiden Abhängen ist der (437.), weil $\frac{\log\text{nat}(1+\mu_1)-\mu_1}{1+\mu_1}$ für *jedes* $\mu_1 > 0$ kleiner als 1 ist. Man wird also, sobald ein solcher Abhang vorkommt, die Röhren V und X beide öffnen, und dann ist der Luftbedarf aus dem grofsen Behälter für solche Abhänge

441. $$S_2 = 0.$$

C. Auf *stärkeren* Abhängen als (437. oder 438.) können auf die Länge L nach (408.)

$$442. \quad S_3 = -L \cdot \frac{\Delta^2 \lambda}{(1+\mu_1)D} \text{ C. F. atmosphärische Luft}$$

in einen *Hemmbehälter eingepumpt* werden.

D. Zur *Hervorbringung* einer bestimmten Geschwindigkeit c beim Anfange der Bewegung sind, wenn man dazu diejenige Spannung der zusammengeprefsten Luft anwendet, die zur Ersteigung des *stärksten* Abhanges β_m der Bahn nöthig ist, nach (420.)

$$443. \quad S_4 = \frac{c^2}{4g} \cdot \frac{\lambda^2 (QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)+\Delta^2 \lambda \sigma)}{D^2 \sigma (\operatorname{tang}\beta_m - \operatorname{tang}\beta_2)(\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1)} \text{ Cub. F.}$$

atmosphärische Luft nothwendig, und zwar ebenfalls $\frac{1}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1}$ (439.) mal so viel, als bei Luftwagen *erster* Art. In (443.) bezeichnet β_2 den Abhang an der Stelle, wo die Geschwindigkeit c hervorgebracht werden soll.

E. Die Wirkung des Hemmbehälters auf das Hemmen geben die Formeln (425. bis 436.) an.

F. Die angemessene Gröfse des willkürlichen μ_1, nach welcher

$$444. \quad k = \frac{\lambda}{1+\mu_1} \quad (340.)$$

zu bestimmen ist, läfst sich am leichtesten mittels des Ausdrucks

$$445. \quad 1+\mu_m = \frac{1+\mu_1}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1}\left[1+\frac{QD(n+\operatorname{tang}\beta_m)}{\Delta^2 \lambda \sigma}\right] \quad (394.)$$

finden, wenn man darin μ_1 so annimmt, dafs die zum Ersteigen des *stärksten* Abhanges β_m nöthige Spannung $1+\mu_m$ *nicht zu grofs* wird. Für (445.) ist

$$446. \quad \frac{1+\mu_1}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1} =$$

Für $\mu_1 =$ 0	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10
1	1,1814	1,4304	1,6764	1,9165	2,1486	2,3758	2,5984	2,8152	3,0280	3,2373,

G. Da sowohl S_1 (440.) als S_4 (443.) für Luftwagen von der *zweiten* Art $\frac{1}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1}$ mal so viel beträgt, als für Luftwagen *erster* Art, so ist auf Eisenbahnen, auf welchen keine *stärkeren* Abhänge als tang β (437. 438.) vorkommen, die allein eine Ausnahme machen, der Bedarf an Luft *überhaupt* gerade $\frac{1}{\log\operatorname{nat}(1+\mu_1)+1}$ mal so grofs für Luftwagen *zweiter*, als für Luftwagen *erster* Art.

Jenes ist bei der in (§. 37. *D.*) zum Beispiel genommenen Eisenbahn zwischen Berlin und Potsdam der Fall; also kann man die auf derselben für Luftwagen *zweiter* Art nöthige Luftmasse unmittelbar aus dem dort berechneten Bedarf für Luftwagen *erster* Art finden, wenn man denselben mit $\frac{1}{\log \text{nat}(1+\mu_1)+1}$ multiplicirt.

Es kommt dann zunächst auf die schickliche Bestimmung von μ_1 an.

a. Es ist dort angenommen

447. $Q = 1800 \cdot 110$ Pfd., $\Delta = \frac{3}{4}$ F., $\lambda = 1$ F., $D = 5$ F.

und der stärkste Abhang auf der Bahn ist $\tang \beta_m = 0{,}00333 \ldots$. Dieses giebt für (445.)

448. $$1 + \frac{QD(n + \tang \beta_m)}{\Delta^2 \lambda \sigma} = 1 + \frac{5 \cdot 1800 \cdot 110 \cdot 0{,}00733 \ldots}{(\frac{3}{4})^2 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 110} = 7{,}518.$$

Daraus folgt nach (445. und 446.)

449.

Für $\mu_1 =$	0	1	2	3	4
$1 + \mu_m =$	7,518	8,878	10,753	12,600	14,404,
also $\mu_m =$	6,518	7,878	9,753	11,600	13,404.

Will man demnach der Luft in dem großen Behälter eine Spannung von etwa 10 Atmosphären Überschuß über die Spannung der äußern Luft geben, so muß man

450. $\mu_1 = 2$, also $k = \frac{\lambda}{1+\mu_1} = \frac{1}{3}\lambda = 4$ Zoll

annehmen.

Für dieses $\mu_1 = 2$ ist dann nach (439.) $\frac{1}{\log \text{nat}(1+\mu_1)+1} = 0{,}4768$ und es ist also der in (§. 37. *D.*) berechnete Luftbedarf mit 0,4768 zu multipliciren. Dieses giebt an Bedarf für Luftwagen *zweiter* Art *noch nicht die Hälfte* dessen für Luftwagen *erster* Art (222.), und zwar

451. 1. 20956 C. F. atmosphärische Luft für die Fahrt von Berlin nach Potsdam und
2. 20289 C. F. für die Fahrt von Potsdam nach Berlin.

Aus diesem Beispiele zeigt sich, um wieviel vortheilhafter die Luftwagen *zweiter* Art gegen die *erster* Art sind.

b. Der Gewinn ist etwas geringer, wenn man die Cylinder *größer* macht. Setzt man z. B.

452. $\Delta = 1$, $\lambda = 1\frac{1}{3}$ F.,

so ist

453. $$1 + \frac{QD(n + \tang \beta_1)}{\Delta^2 \lambda \sigma} = 1 + \frac{5 \cdot 1800 \cdot 110 \cdot 0{,}00733 \ldots}{1 \cdot \frac{4}{3} \cdot 18 \cdot 110} = 3{,}75.$$

Dieses giebt in (445. und 446.)

454. $\left\{\begin{array}{lccccccc} \text{Für } \mu_1 = & 0 & 1 & 2 & 3 & 4 & 5 & 6 \\ 1+\mu_m = & 3{,}75 & 4{,}424 & 5{,}364 & 6{,}286 & 7{,}187 & 8{,}057 & 8{,}909, \\ \text{also } \mu_m = & 2{,}75 & 3{,}424 & 4{,}364 & 5{,}286 & 6{,}187 & 7{,}057 & 7{,}909. \end{array}\right.$

Will man auch nur

455. $\mu_1 = 3$, also $k = \frac{\lambda}{1+\mu_1} = \frac{1}{4}\lambda = 4$ Zoll

setzen, so braucht man nur noch die Luft in dem grofsen Behälter bis auf die Spannung 5,286 Überschufs über die äufsere Luft zusammenzupressen und der Luftbedarf ist alsdann nach (439.) nur 0,4191mal der in (222.), welcher hier wegen des gröfsern Δ und λ resp. 57 246 und 55 846 C. F. beträgt, also

456. $\left\{\begin{array}{l}\text{1. 23 992 C. F. atmosphärische Luft für die Fahrt von Berlin nach Potsdam und} \\ \text{2. 23 405 C. F. für die Fahrt von Potsdam nach Berlin.}\end{array}\right.$

e. Von den vortheilhaftesten Gefällen der Bahn für Luftwagen zweiter Art.

55.

A. Ganz Dasselbe, was wegen der *Gefälle* der Bahn bei der *ersten* Art von Luftwagen in (§. 38.) bemerkt worden, findet auch bei der *zweiten* Statt; nur mit dem Unterschiede, dafs der Abhang $\tang\beta$, auf welchem der Wagenzug blofs von der Schwere getrieben hinabzurollen anfängt und also keiner zusammengeprefsten Luft aus dem grofsen Behälter bedarf, hier nicht $= -n$, sondern einer der durch (437. und 438.) ausgedrückten Winkel ist, welcher durch β_0 bezeichnet werden mag.

B. Behält man die Bezeichnungen (227. und 228.) bei und setzt noch der Kürze wegen

457. $$\frac{1}{\log \operatorname{nat}(1+\mu_1)+1} = \delta \text{ und}$$

458. $$\mu_1 - \log \operatorname{nat}(1+\mu_1) = \tau,$$

so ist aus (§. 54.)

459. $$\tang\beta_0 = -\frac{\eta\tau}{k_1(1+\mu_1)} - n \text{ (437.)},$$

wenn die Röhren V und X beide offen sind, und

460. $$\tang\beta_0 = -\frac{\eta}{k_1} - n \text{ (438.)},$$

wenn V verschlossen und X offen sein soll; ferner

461. $$S_1 = L\delta(k_1(n+\tang\beta)+\eta) \text{ (440.)}$$

der Luftbedarf, wenn $\beta > \beta_0$ ist,

462. $S_2 = 0$ für $\beta = \beta_0$ (441.) und

463. $S_2 = -\frac{L\eta}{1+\mu_1}$ (442.) für $\beta < \beta_0$.

Nach diesen Formeln kann man wieder wie in (§. 39. und 40.) verfahren. Der Kürze wegen werde, wie immer, blofs β statt tangβ geschrieben.

56.

Wir wollen, um den Raum zu sparen, nur wie in (§. 39.) den Fall erwägen, wo die Höhe h mit dem *unveränderlichen* Gefälle β zu ersteigen ist, und die Untersuchung der zweiten Frage, (§. 40.), ob und inwiefern es besser sei, einen Abhang mit einem *constanten*, oder mit *zwei verschiedenen* Gefällen zu ersteigen, den Lesern überlassen.

A. Statt (232.) ist hier

464.
1. $A = L\delta(\eta + nk_1)$ (461.) und $B = L\delta(\eta + nk_2)$ (461.) für $\beta = 0$,
2. $A = L\delta(\eta + (n+\beta)k_1)$ (461.) und $B = L\delta(\eta + (n-\beta)k_2)$ (461.) für $\beta < \beta_0$,
3. $A = L\delta(\eta + (n+\beta_0)k_1)$ (461.) und $B = 0$ (462.) für $\beta = \beta_0$,
4. $A = L\delta(\eta + (n+\beta)k_1)$ (461.) und $B = -\frac{L\eta}{1+\mu_1}$ (463.) für $\beta > \beta$.

Dies giebt, wegen $A + B = C$ (229.),

465.
1. $C = L\delta(2\eta + n(k_1 + k_2))$ für $\beta = 0$,
2. $C = L\delta(2\eta + n(k_1 + k_2) + \beta(k_1 - k_2))$ für $\beta < \beta_0$,
3. $C = L\delta(\eta + (n + \beta_0)k_1)$ für $\beta = \beta_0$,
4. $C = L\delta\left(\eta\left(1 - \frac{1}{(1+\mu_1)\delta}\right) + (n+\beta)k_1\right)$ für $\beta > \beta_0$.

B. Die Werthe von β_0 sind hier *positiv* zu nehmen, so dafs

466.
1. $n + \beta_0 = 2n + \frac{\eta\tau}{k_1(1+\mu_1)}$ aus (459.) und
2. $n + \beta_0 = 2n + \frac{\eta}{k_1}$ aus (460.) ist.

Das Erste giebt in (465. 3.)

467. $\eta + (n+\beta_0)k_1 = \eta + 2nk_1 + \frac{\eta\tau}{1+\mu_1} = \eta\left(1 + \frac{\tau}{1+\mu_1}\right) + 2nk_1$.

Das Zweite giebt

468. $\eta + (n+\beta_0)k_1 = \eta + 2nk_1 + \eta = 2(\eta + nk_1)$.

In (465. 4.) ist

469. $1 - \frac{1}{(1+\mu_1)\delta} = 1 - \frac{\log\text{nat}(1+\mu_1) + 1}{1+\mu_1} = \frac{\tau}{1+\mu_1}$ (458.),

also erhält man in (465.)

$$
470.\left\{\begin{array}{ll}
1.\ C = L\delta(2\eta + n(k_1 + k_2)) & \text{für } \beta = 0,\\
2.\ C = L\delta(2\eta + n(k_1 + k_2) + \beta(k_1 - k_2)) & \text{für } \beta < \beta_0,\\
3.\left\{\begin{array}{l} C = L\delta\left(\eta\left(1 + \frac{\tau}{1+\mu_1}\right) + 2nk_1\right) \\ \\ C = 2L\delta(\eta + nk_1) \\ \\ \end{array}\right. & \begin{array}{r} \text{für } \beta = \beta_0, \text{ wenn beide Röhren} \\ \text{offen sind,} \\ \text{für } \beta = \beta_0, \text{ wenn } V \text{ verschlossen} \\ \text{und } X \text{ offen ist,} \end{array}\\
4.\ C = L\delta\left(\frac{\eta\tau}{1+\mu_1} + (n+\beta)k_1\right) & \text{für } \beta > \beta_0.
\end{array}\right.
$$

C. Ist *Erstlich* die Rückfracht der Hinfracht *gleich*, also $k_2 = k_1$, so giebt (470.)

$$
471.\left\{\begin{array}{ll}
1.\ C = 2L\delta(\eta + nk_1) & \text{für } \beta = 0,\\
2.\ C = 2L\delta(\eta + nk_1) & \text{für } \beta < \beta_0,\\
3.\left\{\begin{array}{l} C = L\delta\left(\eta\left(1 + \frac{\tau}{1+\mu_1}\right) + 2nk_1\right) \\ \\ C = 2L\delta(\eta + nk_1) \\ \\ \end{array}\right. & \begin{array}{r} \text{für } \beta = \beta_0, \text{ wenn beide Röhren} \\ \text{offen sind,} \\ \text{für } \beta = \beta_0, \text{ wenn } V \text{ verschlos-} \\ \text{sen und } X \text{ offen ist,} \end{array}\\
4.\ C = L\delta\left(\frac{\eta\tau}{1+\mu_1} + (n+\beta)k_1\right) & \text{für } \beta > \beta_0.
\end{array}\right.
$$

D. Fahren *Zweitens bergab* nur *leere* Wagen, in welchem Fall $k_2 = \frac{1}{3}k_1$ gesetzt werden kann (236.), so giebt (470.)

$$
472.\left\{\begin{array}{ll}
1.\ C = 2L\delta(\eta + \frac{2}{3}nk_1) & \text{für } \beta = 0,\\
2.\ C = 2L\delta(\eta + \frac{1}{3}k_1(2n + \beta_1)) & \text{für } \beta < \beta_0,\\
3.\left\{\begin{array}{l} C = L\delta\left(\eta\left(1 + \frac{\tau}{1+\mu_1}\right) + 2nk_1\right) \\ \\ C = 2L\delta(\eta + nk_1) \\ \\ \end{array}\right. & \begin{array}{r} \text{für } \beta = \beta_0, \text{ wenn beide Röh-} \\ \text{ren offen sind,} \\ \text{für } \beta = \beta_0, \text{ wenn } V \text{ verschlos-} \\ \text{sen und } X \text{ offen ist,} \end{array}\\
4.\ C = L\delta\left(\frac{\eta\tau}{1+\mu_1} + (n+\beta)k_1\right) & \text{für } \beta > \beta_0.
\end{array}\right.
$$

E. Hieraus ergeben sich wieder ähnliche Folgerungen, wie in (§. 39.).

Aus (471. 1. 2. und 3.) ergiebt sich zum Beispiel, dafs, wenn Hin- und Rückfracht gleich sind, der Luftbedarf ganz *derselbe* ist, die Bahn mag *horizontal* liegen, oder einen Abhang $\beta = \beta_0$ haben: ja selbst, wenn man die Röhre V verschliefst und nur X offen läfst, einen Abhang $\beta = \beta_0$, der schon recht ansehnlich sein, z. B. nach (407. 2.) bis zu 0,00666 oder 1 auf 150 be-

tragen kann; so dafs sich also z. B. eine Anhöhe von 20 F., wenn dazu 3000 F. oder 250 R. Länge vorhanden sind, *ohne* Einschnitt ersteigen läfst.

Ähnliches wird man finden, wenn man die zweite Frage wie in (§. 40.) untersucht. Und überhaupt wird sich ergeben, dafs im Allgemeinen auch für die *Gefälle* der Bahn die *zweite* Art von Luftwagen vortheilhafter ist, als die erste.

XIV. Vom Eingreifen der Luftwagen, so wie der Dampfwagen, auf die Bahnschienen und von dem diesen Zugmaschinen nöthigen Gewicht.

57.

Dieser Gegenstand ist noch zu besprechen, ehe wir zu der Anwendung des Vorherigen, die Zugmaschinen Betreffenden, auf die beiden Eisenbahn-Arten No. IV. und V. §. 4. übergehen.

A. Der Betrag des *Eingreifens* der Triebräder der Zugmaschine darf *nicht kleiner* sein als die zur Fortbringung der Last Q auf der Bahn nöthige *Zugkraft*

$$473.\quad Z = Q(n + \tan\beta)\ (103.).$$

Jedenfalls ist das Eingreifen oder die *Reibung* der Triebräder auf die Schienen ein *gewisser Theil* des auf den Triebrädern ruhenden Gewichts; wenigstens insofern, dafs es in *demselben* Verhältnifs gröfser oder kleiner ist, als dieses Gewicht. Also hängt von dem *Gewicht* der Zugmaschine (von welchem man entweder nur denjenigen *Theil*, der insbesondere auf den Triebrädern ruht, oder durch Kuppelung der andern Räder der Maschine an die Triebräder auch den *ganzen* Betrag zu der Reibung benutzen kann) die Last Q ab, welche sich durch die Maschine, möge sie durch die Elasticität des Wasserdampfs oder zusammengeprefster Luft in Bewegung gesetzt werden, fortschaffen läfst.

Bezeichnet man durch P Das, was man von dem Gewicht der Zugmaschine zum Eingreifen der Triebräder auf die Schienen benutzen will, wo also P *nicht gröfser* sein kann, als das Gewicht der *ganzen* Maschine, wohl aber kleiner, und durch mP den *Theil* von P, welcher die dadurch auf den Schienen hervorgebrachte Reibung ist, so mufs *mindestens*

$$474.\quad mP = Z = Q(n + \tan\beta)$$

sein und es kann also Q *nicht gröfser* sein als

$$475.\quad Q = \frac{mP}{n + \tan\beta};$$

wo P seinerseits *nicht gröſser* sein kann als das Gewicht der *ganzen* Zugmaschine.

B. *Welcher* Theil die Reibung mP auf die Schienen von der Last P sei, welche diese hervorbringt, darüber fehlt es meines Wissens noch an genügenden *directen* Versuchen. Auch mag ein fester Satz dafür schwer anzugeben sein, da, abgesehen von den Fällen, wo die Schienen durch Eis, Schnee oder durch zufällig darauf gerathenes Fett schlüpfrig geworden sind (welche Fälle indessen nur als Ausnahmen anzusehen sind, die nicht in Betracht kommen, weil sich eine solche Schlüpfrigkeit der Schienen leicht entfernen läſst) die Reibung doch auch dadurch, daſs die Schienen und die Räder mit der Zeit *glatt gerieben* werden, *sehr* verschieden sein kann. Gleichwohl kommt es *sehr wesentlich* auf diesen Satz an: denn wenn die Reibung der Räder auf die Schienen nicht hinreichend stark ist, so hilft alle Kraft der Maschine nichts. Sie wird die Räder auf den Schienen umdrehen, und der Wagenzug wird stehen bleiben. Es kommt durchaus auf die Frage an, wieviel m sei; aber diese Frage kann und darf nur so gestellt werden, daſs man wissen wolle, wieviel m *mindestens* sei, wenn auch die Schienen noch so glatt gerieben sind. Ist m gröſser, so schadet es nichts, sondern ist nur um so besser.

C. Ursprünglich hielt man bekanntlich die Reibung von P für so gering, daſs man überhaupt an der Möglichkeit zweifelte, durch sie einigermaſsen bedeutende Wagenzüge auf einer Eisenbahn fortzuschaffen, und dachte deshalb daran, den Schienen und den Triebrädern *Zähne* zu geben; wovon sich aber bald die Unausführbarkeit ergab.

Die erste Erfahrung auf der Liverpooler Bahn zeigte, daſs es sich mit der Reibung anders verhalte, und daſs sie stärker und stark genug sei, um durch eine Zugmaschine von nicht allzugroſsem Gewicht einen ansehnlichen Wagenzug fortzuschaffen; wenigstens auf Bahnen mit nicht sehr starken Abhängen.

Nach dieser ersten Erfahrung schätzten Einige die Reibung mP auf den 20ten Theil von P, Andere höher; selbst bis auf den 6ten Theil.

Spätere Erfahrungen, zunächst in America, bewiesen, daſs die Reibung jedenfalls bedeutend sein müsse; denn es brachten Dampfwagen selbst auf Abhänge von 1 auf 60 und sogar von 1 auf 40 Wagenzüge hinauf. Jetzt geschieht dies an einigen Orten in America, England und Frankreich *fortwährend*. Ich habe anderswo (im 2ten Heft 13ten Bandes dieses Journals S. 137 bis 145) aus solchen *Erfahrungen* berechnet, daſs die Reibung sehr wohl auf den *vierten* Theil der Last angeschlagen werden könne.

D. Indessen ist es allerdings wahr, dafs es, selbst wenn $m = \frac{1}{4}$ gesetzt werden darf, doch noch schwierig sein würde, *grofse* Wagenzüge einen steilen Abhang hinaufzuschaffen. Es ist nemlich aus (474.)

$$476. \quad P = \frac{Q}{m}(n + \tang \beta).$$

Setzt man Q, mit Einschlufs des Gewichts der Zugmaschine $= 1800$ Ctr., was noch eben kein sehr starker Wagenzug ist, so müfste für einen Abhang von 1 auf 40, also für $\tang \beta = 0{,}025$, schon

$$477. \quad P = 4.1800(0{,}004 + 0{,}025) = 208{,}8 \text{ Ctr.}$$

sein, was schon ein nicht ganz geringes Gewicht für die Zugmaschine ist; und wenn nun die Schienen im geringsten schlüpfrig würden und die Reibung etwa auf die Hälfte hinabsänke, so würde die Maschine den Dienst versagen.

E. Nun ist es aber vorzüglich zu wünschen, dafs man durch Zugmaschinen *mit Sicherheit* auch schwerere Wagenzüge über steile Abhänge eben so wohl möge fortbringen können, als über schwächere: dafs man nicht für einzelne steile Stellen entweder stärkere Zugmaschinen, oder eine zweite vorgespannte Maschine nöthig haben, oder nicht gezwungen sein möge, dasjenige Gewicht der Zugmaschine, welches für horizontale oder wenig abhängige Bahnen hinreicht, blofs einzelner steiler Stellen wegen zu verstärken: überhaupt, dafs man mit so *leichten* Zugmaschinen als möglich auskommen möge; denn das Gewicht der Zugmaschine ist nicht allein keine *Nutzlast*, sondern, was noch wichtiger ist, die schweren Maschinen greifen auch die Bahn *insbesondere* an und erfordern stärkere und theurere Schienen, als sonst für die übrigen leichtern Wagen, welche die Nutzlast tragen, nothwendig sein würden. Und will man die schweren Zugmaschinen dadurch ersparen, dafs man einzelne steile Stellen vermeidet und der Bahn überall möglichst wenig Abhang giebt, so entstehen jene ungeheuren Kosten der Erd-Arbeiten; und wo Wasserscheiden in Gebirgen zu übersteigen und also steile Stellen *unvermeidlich* sind, ist das Mittel gar nicht einmal möglich. Man hilft sich dann mit stehenden Maschinen, oder wie es sonst gehen will; was aber wieder grofse Kosten, Aufenthalt und auch wohl Gefahr bringt.

Es ist also wie gesagt, zu wünschen, dafs es möglich sein möge, durch Zugmaschinen von *möglichst geringem Gewicht* grofse Lasten, ohne Unterschied, sowohl über geringe, als über steile Abhänge fortzuschaffen.

F. Das Mittel dazu wäre natürlicherweise, die Reibung der Triebräder auf die Schienen, *ohne* das Gewicht der Maschine, welches sie hervor-

bringt, zu vergröfsern, auf irgend eine Weise zu *verstärken.* Geht das an, so ist die Aufgabe gelöset, und unvermeidliche, oder nur durch sehr kostbare Erd-Arbeiten vermeidbare einzelne steile Abhänge setzen dann den Eisenbahnen nicht mehr wie jetzt Hindernisse entgegen; denn das *Bergabfahren* von steilen Stellen macht, wie sich weiter unten zeigen wird, keine wesentlichen Schwierigkeiten. Die Eisenbahnen sind dann, und *erst dann,* anders wie jetzt, *überall ohne unerschwingliche Kosten practicabel.*

Man hat sich auch vielfältig um die Art und Weise bemüht, wie die Reibung der Triebräder auf die Schienen zu verstärken sei, ohne die reibende Last zu vermehren. Man ist, wie oben bemerkt, auf die Zahnung der Schienen und Räder zurückgekommen; man hat Rollen vorgeschlagen, die die Schienen von beiden Seiten ergreifen und welche Federn an dieselben andrücken sollen u. s. w. Allein alle solche künstliche und complicirte Mittel werden immer mifslich, kostbar und nicht ohne Gefahr sein.

Es scheint, dafs es ein sehr einfaches und wenig kostbares Mittel gebe, den Zweck zu erreichen, und welches kaum jemals den Dienst versagen kann. Ich weifs nicht, ob Jemand dieses Mittel schon vorgeschlagen hat. Für den Fall, dafs es nicht geschehen sein sollte, will ich es hier kürzlich beschreiben.

XV. *Mittel, das Eingreifen der Triebräder auf die Bahnschienen zu verstärken, ohne das Gewicht des Wagens zu vergröfsern.*

58.

Gewöhnlich macht man den Umfang der Triebräder vollkommen *cylindrisch* Nur die andern Räder der Zugmaschine bekommen Spurkränze, welche sie verhindern, die Schienen zu verlassen.

Statt dessen gebe man den Triebrädern die Form Fig. 20. I. und II., jedes Rad mit zwei Spurkränzen, von wenigstens $1\frac{1}{2}$ Zoll hoch, mit inwendig ganz geraden, *schrägen* Flächen und an der Wurzel um etwa 1 Zoll *mehr* von einander abstehend, als der Kopf der *gewöhnlichen* Schienen *breit* ist, also um etwa $3\frac{1}{2}$ Zoll, so dafs der Kranz des Triebrades im Ganzen etwa $5\frac{1}{2}$ Zoll breit wird.

Da, wo nur die *gewöhnliche* Kraft des Eingreifens der Triebräder nöthig ist, lege man *gewöhnliche* Schienen, auf welche also dann die Triebräder nach Fig. 20. I. wie gewöhnlich hinrollen werden, ohne von ihnen etwas anders als die obere gerade Fläche zu berühren. Höchstens werden sie sich mit ihren Spurkränzen, gleich allen andern Bahnwagen, mit dem einen oder

dem andern ihrer beiden Spurkränze von der Seite an den Kopf der Schienen reiben.

An den *steilern* Stellen der Bahn dagegen, wo mehr als die gewöhnliche Kraft des Eingreifens der Triebräder nöthig ist, lege man Schienen, deren Kopf noch um etwas mehr denn 1 Zoll *breiter* ist als gewöhnlich, nemlich so breit, dafs nach Fig. 20. II. die gerade Fläche *ab* des Triebkranz-Umfanges die obere gerade Fläche *cd* des Schienenkopfes *nicht erreichen* kann, sondern das Triebrad den Schienenkopf in den Puncten *e* und *f* berührt und sich so auf die Schienen gleichsam *einkeilt*. Die Puncte *e* und *f* werden dann von einer Kraft geprefst werden, welche *stärker* ist, als das auf den Triebrädern ruhende Gewicht.

Bezeichnet man nemlich den Winkel, welchen die Flächen *ag* und *bh* mit dem *Loth* machen, durch φ, so bringt das auf den Triebrädern ruhende Gewicht *P senkrecht* auf *ag* oder *bh* einen Druck $P \operatorname{cosec} \varphi = \frac{P}{\sin \varphi}$ hervor, welcher *immer* gröfser als *P*, und um so gröfser ist, je kleiner man φ annimmt. Und da man es nun in der Gewalt hat, den Winkel φ so klein zu machen, als man will, so läfst sich der Druck auf die Schienen, und folglich die Reibung der Triebräder auf denselben, ohne die auf ihnen ruhende Last zu vergröfsern, *nach Belieben* verstärken.

Macht man z. B. $\varphi = 30$ Grad, so ist $\sin \varphi = \frac{1}{2}$ und die Reibung wird also schon *verdoppelt;* für $\varphi = 19$ Gr. 28 Min. wird sie *verdreifacht;* u. s. w.

Ein wesentlicher Übelstand, oder eine Gefahr, ist von dieser Anordnung nicht abzusehen. Das einzige Bedenken wäre, dafs die Schienen in den beiden einzelnen Puncten *e* und *f* stärker werden angegriffen und folglich eher abgenutzt werden, als wenn das Triebrad auf der obern geraden und breiten Fläche der Schienen rollt; aber wenn man bedenkt, wie langsam überhaupt der Erfahrung nach die Abnutzung der Schienen erfolgt, so ist wohl zu erachten, dafs das Bedenken, der so bedeutenden Wirkung gegenüber, von keinem Belang ist. Statt etwaiger *Gefahr* aber entsteht sogar noch eine gröfsere *Sicherheit*, weil jetzt die Triebräder ebenfalls Spurkränze, und zwar recht hohe Spurkränze bekommen, und also die Zugmaschine um so weniger die Schienen verlassen kann.

So also läfst sich annehmen, dafs, wenn man sich des vorgeschlagenen Mittels bedienen will, die Zugmaschine, wenn man ihr sonst nur hinreichende innere Kraft giebt, keines gröfseren Gewichts bedürfen werde, um über Berg

und Thal den Wagenzug fortzuschaffen, als auf die *gewöhnliche* Weise für nur schwache Abhänge; denn ihr Eingreifen auf die Schienen kann man *nach Belieben* verstärken.

Setzt man, wie oben in (§. 57. *D.*), das Gewicht des Wagenzuges $Q = 1800$ Ctr. und wendet das vorgeschlagene Mittel an, für einen Abhang der Bahn von 1 auf 40, so ergiebt sich für $m = \frac{1}{4}$ und $\varphi = 19^0,28$:

$$478. \quad P = \frac{4 \cdot 1800}{3}(0{,}004 + 0{,}00666\ldots) = 70.$$

Selbst für $m = \frac{1}{6}$ wäre erst

$$479. \quad P = 105 \text{ Ctr.};$$

und dazu ist eine Zugmaschine von höchstens 200 Ctr. schwer hinreichend, statt dafs die Dampfwagen jetzt an 300 Ctr. und darüber wiegen.

Das Gewicht der Zugmaschine ist also, wenn man sich des Mittels bedienen will, fast gar nicht mehr von dem Gewicht des fortzuschaffenden Wagenzuges abhängig, sondern nur noch von ihrer eigenen Ladung; denn selbst für den schwersten Wagenzug, von $Q = 3000$ Ctr. an Gewicht, würde noch eine Zugmaschine von 200 Ctr. schwer ausreichen.

XVI. Vom Hemmen.

59.

Wir sagten in (§. 57. *F.*), dafs das *Bergabfahren* von steilen Bahnstellen keine wesentlichen Schwierigkeiten mache.

A. In der That beträgt z. B. von einem Wagenzuge von $Q = 1800$ Ctr. schwer die ihn bergabtreibende Kraft

$$480. \quad Z = Q(\tang\beta - n)$$

selbst für einen Abhang $\tang\beta = \frac{1}{40}$ nur

$$481. \quad Z = 1800(\tfrac{1}{40} - \tfrac{1}{240}) = 37{,}8 \text{ Ctr.}$$

Wenn also auch nur die 4 bis 6fache Last, also 150 bis 225 Ctr. gehemmt wird, mithin nur von 2 bis 3 Bahnwagen die Räder, erst durch Anschrauben, dann durch untergelegte Hemmschuhe vollständig am Umlauf verhindert werden, so ist die bergabtreibende Kraft schon aufgehoben.

B. Ferner entsteht, wenn man sich der Luftwagen bedient, durch das Einpumpen von Luft, wie weiter oben nachgewiesen, eine starke hemmende Kraft, die selbst noch weniger versagen kann, als das gewöhnliche Hemmen.

C. Dann aber erzeugt sich auch eine übermäfsig grofse Geschwindigkeit nicht *so schnell* als es scheint.

Die aus der *bewegenden* bergabtreibenden Kraft Z (480.) entstehende *beschleunigende* Kraft nemlich ist

$$482. \quad p = \frac{Z}{Q} = \operatorname{tang}\beta - n.$$

Dieselbe bringt in der Zeit ∂t die Geschwindigkeit $\partial v = 2gp\,\partial t$ hervor, so dafs $v = 2gpt + \text{Const.}$ ist und, wenn man $v = v_1$ für $t = 0$ setzt,

$$483. \quad v = 2gpt + v_1.$$

Mit der Geschwindigkeit v wird in der Zeit ∂t der Raum ∂x durchlaufen, so dafs $\partial x = v\,\partial t = 2gpt\,\partial t + v_1\,\partial t$ ist, welches $x = gpt^2 + v_1 t + \text{Const.}$ und, da für $t = 0$ $x = 0$ ist,

$$484. \quad x = gpt^2 + v_1 t$$

giebt. Hierin aus (483.) $t = \frac{v - v_1}{2gp}$ gesetzt, giebt $x = gp \cdot \frac{(v - v_1)^2}{4g^2p^2} + v_1 \cdot \frac{v - v_1}{2gp}$ oder

$$485. \quad x = \frac{v^2 - v_1^2}{4gp} = \frac{v^2 - v_1^2}{4g(\operatorname{tang}\beta - n)} \quad (482.),$$

und daraus folgt $4gpx = v^2 - v_1^2$, also $v = \sqrt{(4gpx + v_1^2)}$ oder vermöge (482.)

$$486. \quad v = \sqrt{(4gx(\operatorname{tang}\beta - n) + v_1^2)}.$$

Sorgt man nun dafür, dafs die Anfangsgeschwindigkeit v_1 am *Gipfel* des Abhanges, wenn nicht Null, so wenigstens möglichst klein sei, z. B. $v_1 = 10$ F., so darf nach (485.) der Wagenzug einen Abhang von $\operatorname{tang}\beta = \frac{1}{40}$ schon

$$487. \quad x = \frac{40^2 - 10^2}{4 \cdot 15\tfrac{5}{8}(\frac{1}{40} - \frac{1}{250})} = 1143 \text{ F. lang, also } 28\tfrac{1}{2} \text{ F. hoch}$$

hinabrollen, ehe er eine Geschwindigkeit von $v = 40$ F. in der Secunde oder 6 Meilen auf die Stunde erlangt. Erst auf

$$488. \quad x = \frac{53\tfrac{1}{3}^2 - 10^2}{4 \cdot 15\tfrac{5}{8}(\frac{1}{40} - \frac{1}{250})} = 2091 \text{ F. lang, also } 52\tfrac{1}{4} \text{ F. hoch}$$

erlangt er $53\frac{1}{3}$ F. Geschwindigkeit in der Secunde oder 8 Meilen in der Stunde, die noch keine Gefahr hat, wenn nur keine kurzen Krümmen in der Bahn sich befinden.

D. Erst auf *längern* und höhern Abhängen ist das Hemmen durch Hemmschuhe oder durch Einpumpen von Luft in die Zugmaschine zu Hülfe zu nehmen nöthig. Solche längern Abhänge, wenn sie sehr steil sind, mufs man dann durch horizontale Stellen unterbrechen. Auch wird es gut sein, wenn es angeht, die etwa nöthigen Krümmen der Bahn, insofern sie nicht zu lang sind, mit nicht zu starkem Gefälle, in den *Anfang* eines langen und steilen

Abhanges, unmittelbar vom Gipfel anfangend, niemals an den Fuſs des Abhanges zu legen; denn auch Krümmen sind Hemmungen.

60.

A. Für *sehr lange* und *sehr starke* Abhänge, also etwa zur Ersteigung oder Übersteigung von Wasserscheiden in Gebirgen, können *Röhren-Eisenbahnen,* wie No. I. II. oder III. §. 4., besonders No. II. oder III., wo *zusammengedrückte* Luft den Wagenzug vor sich her treibt, eben wie zum Bergantreiben der Lasten, auch zur Mäſsigung der Berg-Abfahrt geeignet sein; jedoch zunächst insbesondere nur in der Voraussetzung, daſs es möglich sei, dem Führer des Wagenzuges ein Mittel zu geben (durch einen electrischen Telegraphen etwa) dem Maschinisten an der Luftpumpe, oder an dem Luftbehälter unten am Abhange, oder oben auf dem Gipfel, augenblickliche Zeichen zu machen, ob die zunehmende oder abnehmende Geschwindigkeit stärkeres oder schwächeres Hemmen erfordere.

B. Man setze z. B., es sei beim Ersteigen einer Wasserscheide nicht möglich, schwächere Gefälle als *1 auf 30* zu erlangen, und daſs auf 12 000 F. Länge, vielleicht mit vielen Krümmen, 400 F. Höhe erstiegen werden müssen. Alsdann beträgt die zur *Berganfahrt* nöthige Zugkraft, um 1500 Ctr. hinaufzuschaffen (die hier statt 1800 Ctr. angenommen werden mögen, weil kein *Luftwagen* vorhanden ist) nach (473.)

489. $Z = 1500(\frac{1}{30} + \frac{1}{250}) = 56$ Ctr.;

die *bergabtreibende* Kraft beträgt nach (480.)

490. $Y = 1500(\frac{1}{30} - \frac{1}{250}) = 44$ Ctr.

C. Für die Röhren-Eisenbahnen No. I. mit *verdünnter* Luft, oder für die eigentlich sogenannten *atmosphärischen* Eisenbahnen, ist diese Aufgabe schon zu stark. Denn wenn die Luft aus der Röhre auch bis auf $\frac{5}{6}$ Atmosphären Druck ausgepumpt wird, was sehr unvortheilhaft ist, beträgt der Druck auf 1 Q. F. des Kolbens erst $\frac{5}{6} \cdot 18 = 15$ Ctr. (15.). Um bergan die 56 Ctr. Triebkraft, zu welcher noch die Kraft zur Hervorbringung von Geschwindigkeit und zur Überwindung der Reibung des Kolbens und in den Krümmen kommt, zu besitzen, müſste also der Kolben schon wenigstens 4 Q. F. Fläche und also die Triebröhre 27 Zoll im Durchmesser haben; was sehr kostbar und kaum ausführbar sein würde.

D. Für die Röhren-Eisenbahnen No. II. oder III. dagegen ist das Verlangte recht gut zu erreichen. Giebt man nemlich der Röhre 14 Zoll Durch-

messer, so dafs der Kolben 154 Q. Z. Fläche hat, so bringt ein Druck von 3 Atmosphären schon $3.18.\frac{154}{144} = 57\frac{3}{4}$ Ctr. Triebkraft hervor, also schon mehr als nach (489.) nöthig ist. Man darf also nur die Luft in der Röhre hinter dem Kolben auf etwas mehr als 3 Atmosphären überschüssige Spannung zusammenzupressen, was, besonders bei der *eisernen* Röhre (§. 4. No. II.), kein Bedenken hat, so können die 1500 Ctr. Last schon mit angemessener *Geschwindigkeit* bergauf getrieben werden.

E. Zum *Hemmen* bei der Bergabfahrt ist dieselbe Spannung schon viel stärker als nothwendig: es sind dazu nach (490.) nur $\frac{44}{18}\cdot\frac{144}{154} = 2{,}3$ Atmosphären überschüssige Spannung nöthig. Prefst man also beim Bergabfahren, eben wie bei dem Ersteigen der Höhe, die Luft von unten, also jetzt *vor* dem Kolben, auf 2,3 Atmosphären zusammen, und hat der Führer des Wagenzuges das Mittel, dem Maschinisten unten am Fufse der Steigung augenblicklich wissen zu lassen, was er zu thun habe, so darf dieser nur durch stärkere oder geringere Öffnung des Hahns die zusammengeprefste Luft vor dem Kolben nach Erfordern allmälig ausströmen lassen, um den Wagenzug mit angemessener Geschwindigkeit bergab rollen zu lassen. Auch kann er ihn durch gänzlichen Verschlufs des Hahns *völlig hemmen;* denn der Druck gegen den Kolben, welcher, nachdem der Wagenzug eine gewisse Geschwindigkeit erlangt hat, genau *gleich* Y (490.) bleiben mufs, damit die Geschwindigkeit sich nicht verändere, wird, so wie der Wagenzug mit der erlangten Geschwindigkeit weiter vorrückt, bald wieder stärker werden, wenn der Hahn verschlossen ist, und wird also die Bewegung zuletzt *ganz hemmen.* Dieses Hemmen ist indessen keineswegs weder so schnell wirksam, als es scheint, noch auch allgemein ausführbar. Es verhält sich damit wie folgt.

F. Der Durchmesser der Triebröhre sei $= \delta$. Die Spannung der Luft in der Röhre $= 1 + \mu$, so ist der *wirksame* Druck gegen den Kolben $\frac{1}{4}\pi\delta^2\mu\sigma$ Pfd. Es mufs also zunächst, wenn die erlangte Geschwindigkeit des Wagenzuges sich *nicht* ändern soll,

491. $$Y = Q(\tang\beta - n) = \frac{1}{4}\pi\delta^2\mu\sigma$$

sein. Die noch zu durchlaufende Länge der Röhre sei $= a$, so befinden sich

492. $$\frac{1}{4}\pi\delta^2(1+\mu)a \text{ C. F. atmosphärische Luft}$$

vor dem Kolben. Nun rücke der Wagenzug mit der erlangten Geschwindigkeit c um x Fufs weiter vor, so wird die vor dem Kolben befindliche Luft, sobald der Ausflufshahn verschlossen ist, in den Raum $\frac{1}{4}\pi\delta^2(a-x)$ zusammen-

geprefst; ihre Spannung beträgt also jetzt $\frac{\frac{1}{4}\pi\partial^2(1+\mu)a}{\frac{1}{4}\pi\partial^2(a-x)} = (1+\mu)\frac{a}{a-x}$. Es wirkt folglich nun dem Kolben *bergauf* eine Kraft $\frac{1}{4}\pi\partial^2\sigma(1+\mu)\frac{a}{a-x}$ *entgegen*, und *bergab* treibt ihn der Druck der äufsern Luft $\frac{1}{4}\pi\partial^2\sigma$ und die Kraft $Y = \frac{1}{4}\pi\partial^2\mu\sigma$, zusammen die Kraft $\frac{1}{4}\pi\partial^2\sigma(1+\mu)$. Die *bergab* treibende Kraft ist also

$$493. \quad \tfrac{1}{4}\pi\partial^2\sigma\Big(1+\mu-(1+\mu)\frac{a}{a-x}\Big) = \tfrac{1}{4}\pi\partial^2\sigma(1+\mu)\Big(1-\frac{a}{a-x}\Big)$$
$$= -\tfrac{1}{4}\pi\partial^2\sigma(1+\mu)\frac{x}{a-x}.$$

Diese *bewegende* Kraft wirkt auf die Masse Q und bringt also eine *beschleunigende* Kraft

$$494. \quad p = -\frac{\frac{1}{4}\pi\partial^2\sigma}{Q}(1+\mu)\frac{x}{a-x}$$

hervor. Die beschleunigende Kraft p erzeugt in der Zeit ∂t die Geschwindigkeit

$$495. \quad \partial v = 2gp\partial t,$$

und mit der Geschwindigkeit v wird in der Zeit ∂t der Raum

$$496. \quad \partial x = v\partial t$$

durchlaufen. Aus (496.) folgt $\partial^2 x = \partial v\partial t = 2gp\partial t^2$ (495.); also ist

$$497. \quad \frac{\partial^2 x}{\partial t^2} = 2gp.$$

Multiplicirt man dies mit $2\partial x$, so ergiebt sich

$$498. \quad \frac{2\partial x\partial^2 x}{\partial t^2} = 4gp\partial x = -\frac{g\pi\partial^2\sigma}{Q}(1+\mu)\frac{x\partial x}{a-x} \text{ (494.)}$$

und, wenn man rechterhand $a-x=y$ setzt, so dafs $x=a-y$ und $\partial x = -\partial y$ ist,

$$499. \quad \frac{2\partial x\partial^2 x}{\partial t^2} = +\frac{g\pi\partial^2\sigma}{Q}(1+\mu)\frac{(a-y)\partial y}{y}.$$

Davon ist das Integral

$$500. \quad \frac{\partial x^2}{\partial t^2} = \frac{g\pi\partial^2\sigma}{Q}(1+\mu)[a \log\text{nat}\, y - y] + \text{Const.}$$

oder, da aus (496.) $\frac{\partial x}{\partial t} = v$ ist,

$$501. \quad v^2 = \frac{g\pi\partial^2\sigma}{Q}(1+\mu)[a \log\text{nat}\, y - y] + \text{Const.}$$

Nun soll nach der Voraussetzung $v=c$ sein für $x=0$ oder $y=a$, also giebt (501.) $c^2 = \frac{g\pi\partial^2\sigma}{Q}(1+\mu)[a\log\text{nat}\, a - a] + \text{Const.}$ und

502. Const. $= c^2 - \frac{g\pi\delta^2\sigma}{Q}(1+\mu)[a \log \operatorname{nat} a - a]$,

und folglich ist in (501.) vollständig

$$v^2 = c^2 + \frac{g\pi\delta^2\sigma}{Q}(1+\mu)\left[a \log \operatorname{nat} \frac{y}{a} + a - y\right] \text{ oder}$$

503. $$c^2 - v^2 = \frac{g\pi\delta^2\sigma}{Q}(1+\mu)\left[a \log \operatorname{nat} \frac{a}{a-x} - x\right].$$

Aus dieser Gleichung ergiebt sich für die Länge x, auf welche der Wagenzug zum *Stillstand* gebracht wird, also für welche $v = 0$ ist,

504. $$\frac{c^2 Q}{g\pi\delta^2\sigma(1+\mu)} = a(\log a - \log(a-x)) - x.$$

Setzt man hierin noch aus (491.) $\mu = \frac{Q(\tang\beta - n)}{\frac{1}{4}\pi\delta^2\sigma}$, so erhält man

505. $$a[\log \operatorname{nat} a - \log \operatorname{nat}(a-x)] - x = \frac{c^2 Q}{g\pi\delta^2\sigma\left(1 + \frac{Q(\tang\beta - n)}{\frac{1}{4}\pi\delta^2\sigma}\right)}$$

$$= \frac{c^2 Q}{g(\pi\delta^2\sigma + 4Q(\tang\beta - n))};$$

woraus x durch einige Proben zu berechnen sein wird.

G. Für das obige Beispiel ist

506. $$\frac{Q}{g(\pi\delta^2\sigma + 4Q(\tang\beta - n))} = \frac{1500}{15\frac{5}{8}(\frac{22}{7}\cdot\frac{1}{2}\cdot\frac{1}{2}\cdot 18 + 6000(\frac{1}{20} - \frac{1}{100}))} = 0{,}379,$$

also ist für (505.)

507. $$a[\log \operatorname{nat} a - \log \operatorname{nat}(a-x)] - x = 0{,}379\,c^2$$

oder für Briggische Logarithmen $2{,}303\,a(\log \operatorname{Brigg} a - \log \operatorname{Brigg}(a-x)] - x = 0{,}379\,c^2$ oder

508. $$a[\log \operatorname{Br} a - \log \operatorname{Br}(a-x)] - 0{,}4343\,x = 0{,}1646\,c^2.$$

Beträgt z. B. die Länge a der Röhre vor dem Kolben noch 10 000 F., und will man, dafs der Wagenzug von einer Geschwindigkeit c von 40 F. in der Secunde zum Stillstand gebracht werde, so giebt (508.), nach einigen Versuchen, für x etwa 3100 F., auf welche Länge der Stillstand erfolgt. Ist a nur 4000 F., so findet sich für x etwa 1820 F. Für $a = 1000$ F. ist x etwa 740 F.

Der Wagenzug kommt also immer nur *sehr langsam* zum Stillstand; so dafs diese Art zu hemmen wenig geeignet ist, die Bewegung *schnell* aufzuhalten; und das noch um so mehr, weil, wenn auch der Ausströmungshahn *verschlossen* ist, doch vor dem Kolben Luft aus der längsauslaufenden *Röhrenklappe entweicht.* Auch ist dieses Hemmen *gefährlich;* denn ehe der Wagen-

zug zum Stillstand kommt, wird die Luft vor dem Kolben auf

509. $(1+\mu)\frac{a}{a-x}-1=\frac{\mu a+x}{a-x}$ Atmosphären wirksamer Spannung

zusammengeprefst. Das macht in den obigen drei Fällen, da hier $\mu=2{,}3$ ist (§. 60· *E.*), 3,81; 5,06 und 11,69 Atmosphären; durch welche Spannung die Röhre, wenn sie nicht stark genug ist, *zersprengt* werden kann.

Eine Röhren-Eisenbahn, mit hinter dem Kolben zusammengeprefster Luft, ist daher zwar gut geeignet, um einen schweren Wagenzug bergauf zu schaffen und mit angemessener Geschwindigkeit ihn herabzulassen, aber nicht zum *plötzlichen* Hemmen durch die verdichtete Luft. Dazu werden immer die *gewöhnlichen* Mittel angewendet werden müssen.

XVII. Mittel, die Schwierigkeit der Correspondenz zwischen dem Wagenführer und dem Maschinisten an der Luftpumpe bei Triebröhrenbahnen zu vermeiden.

61.

Wir wollen hier eines einfachen Mittels gedenken, welches den *Führer des Wagenzuges* in den Stand setzen würde, *allein* und *ohne* Zuthun des Maschinisten am Ende der Röhre die Geschwindigkeit der Fahrt zu mäfsigen, oder zu beschleunigen; wenigstens in dem Falle, wo die Luft in der Triebröhre, um die Triebkraft hervorzubringen, nicht *verdünnt,* sondern *zusammengeprefst* werden soll. Die Erwähnung des Mittels wird hier wenigstens nicht ganz an der unrechten Stelle stehen, da dasselbe auch zur *Ermäfsigung* der Geschwindigkeit, also zum *Hemmen* wirksam sein würde. Es ist folgendes.

A. Man stelle sich eine Röhre vor, die von dem vordersten Wagen des Zuges, auf welchem der Führer seinen Platz hat, im Innern der Triebstange in den Triebkolben hinab und längs desselben bis durch den der *verdichteten* Luft zugekehrten Kopf des Kolbes, also bis zu der in der Triebröhre *zusammengeprefsten* Luft selbst reicht und daselbst *offen* ist, oben aber vom Führer des Wagenzuges durch einen Hahn H_1 nach Belieben geöffnet oder verschlossen werden kann. Wir wollen diese Röhre durch A bezeichnen.

B. Eben so erstrecke sich eine andere Röhre von dem Platze des Wagenzugführers, gleichfalls im Innern der Triebstange, in den Triebkolben

hinab und längs desselben nach der *andern* Seite hin, bis durch den der *nicht verdichteten* Luft zugekehrten Kopf des Kolbens, also bis zu der in dem andern Theile der Triebröhre *nicht verdichteten* Luft selbst, sei dort *offen*, könne aber *oben* vom Führer des Wagenzuges ebenfalls durch einen Hahn H_2 nach Belieben geöffnet oder verschlossen werden. Diese Röhre werde durch B bezeichnet.

C. Eine dritte kurze Röhre C setze die beiden Röhren A und B oben vor dem Wagenführer mit einander in Verbindung, und die beiden Hähne H_1 und H_2 seien so eingerichtet, dafs A und B durch sie sowohl *einzeln* verschlossen, als auch *einzeln* nach der äufsern Luft hin geöffnet, so wie auch der äufsern Luft verschlossen und dagegen mit einander in Verbindung gebracht werden können.

D. Die Triebröhre nebst Kolben und Ventil seien so eingerichtet, wie es Fig. 1. 2. und 3. oder 3. 4. und 5. vorstellen; nur mit dem Unterschiede, dafs die Köpfe der Kolben nicht wie in Fig. 3. nur die obere Hälfte des Querschnitts der Triebröhre, sondern ihren *ganzen* Querschnitt verschliefsen; so, dafs also auch an die Stelle des festen Bodens B, B blofse Stangen die beiden Enden des Kolbens mit einander verbinden. Die Triebröhre sei an dem der Luftpumpe entgegengesetzten Ende *nicht offen*, sondern *verschlossen*.

E. Gesetzt nun, der Wagenzug fahre *bergan*, so hat der Maschinist an der Luftpumpe oder an den Behältern für nichts weiter zu sorgen, als dafs die den Wagenzug forttreibende Spannung der Luft in der Triebröhre *niemals unter* diejenige hinabsinke, welche zur Ersteigung der *steilsten* Stellen des Abhanges nothwendig ist; was ihm genau vorgeschrieben werden kann und was dann ein gewöhnlicher Barometer oder Manometer an der Triebröhre anzeigt.

Gelangt nun der Wagenzug an *weniger steile* Stellen, für welche die Triebkraft *zu stark* ist und also die Geschwindigkeit zu sehr zunehmen würde, so setzt der *Führer des Wagenzuges* vermittels der Hähne H_1 und H_2 die *beiden* Röhren A und B *mit einander in Verbindung*. Sofort wird verdichtete Luft nach der *andern* Seite des Kolbens strömen, weil dort die Luft *nicht* verdichtet ist, sondern nur die Spannung der Atmosphäre hat. Also wird sofort das Übergewicht der verdichteten Luft, und folglich die Triebkraft auf den Kolben, mithin auch bald die Geschwindigkeit *abnehmen*. Zwar wird der Maschinist an der Luftpumpe, da er die Spannung der Luft *hinter* dem Kolben beständig auf die *gleiche* Stärke zu erhalten angewiesen ist, die durch

die Röhren *A* und *B* nach der andern Seite des Kolbens hingeströmte Luft sofort wieder ersetzen: aber gleichwohl bleibt die Triebkraft *geringer*, da die Luft *vor* dem Kolben jetzt nicht mehr blofs die Spannung der atmosphärischen Luft besitzt, sondern durch die zugeströmte verdichtete Luft eine *stärkere* Spannung erhalten hat und also einen stärkern *Gegendruck* auf den Kolben ausübt. Also wird jedenfalls die Triebkraft *blofs durch den Führer des Wagenzuges vermindert* und mithin die Geschwindigkeit durch ihn *gemäfsigt* werden können. Es könnte sogar der Führer des Wagenzuges durch dieses Mittel die Triebkraft völlig bis auf *Null* bringen, wenn er nemlich die verdichtete Luft so lange nach der andern Seite des Kolbens strömen liefse, bis sie *vor* dem Kolben *dieselbe* Spannung hat, wie *hinter* dem Kolben. Allein das wird beim *Berganfahren niemals* nöthig sein, da die bergabtreibende Kraft der Schwere hier der Gegenwirkung zu Hülfe kommt.

Gelangt hierauf der Wagenzug wieder an steilere, oder an die steilsten Stellen, wo wieder eine stärkere, oder die stärkste Triebkraft nöthig ist, so darf der Führer des Wagenzuges nur die Röhre *A* verschliefsen und durch die Röhre *B* diejenige verdichtete Luft, welche er vorhin *vor* den Kolben in die Triebröhre hat einströmen lassen, jetzt *in die Atmosphäre ausströmen* lassen. Alsbald wird die Gegenspannung der Luft vor dem Kolben wieder abnehmen, selbst bis zu der der blofsen äufsern Luft, und das *volle* Übergewicht der zusammengeprefsten Luft hinter dem Kolben wird wieder hergestellt sein.

F. Fährt der Wagenzug *bergab*, und zwar so steil, dafs überall die Wirkung der Schwere über die Widerstände das Übergewicht hat, und folglich verdichtete Luft jetzt *vor* dem Kolben den Wagenzug *zurückhalten* mufs, so hat der Maschinist unten an der Luftpumpe wiederum für nichts weiter zu sorgen, als dafs die verdichtete Luft in der Triebröhre *vor* dem Kolben stets auf derjenigen Spannung erhalten werde, die zur Gegenwirkung an den *steilsten* Stellen nöthig ist. Gelangt nun der Wagenzug an weniger steile Stellen, so läfst der Wagenführer durch die Röhren *A* und *B* verdichtete Luft aus dem Theile der Triebröhre vor dem Kolben *hinter* den Kolben strömen, wodurch sofort der Widerstand abnehmen wird. Ist wiederum an steilen Stellen ein stärkerer Gegendruck nöthig, so entläfst er die verdichtete Luft, welcher er den Zutritt hinter den Kolben gestattet hatte, ins Freie.

G. Man sieht leicht, dafs durch eine ähnliche Handhabung der Hähne in den Röhren *A* und *B* der Wagenführer im Stande sein wird, ohne Zu-

thun des Maschinisten an der Luftpumpe die Geschwindigkeit der Bewegung auch dann zu regeln, wenn bei der Bergabfahrt der Abhang nicht so stark ist, dafs die Wirkung der Schwere das Übergewicht hat; und selbst in Fällen, wo, die Eisenbahn *abwechselnd* steigt und fällt. In diesen Fällen ist dann in der Triebröhre verdichtete Luft, aber von *ungleicher* Spannung, zu *beiden* Seiten des Kolbens nöthig und die Maschinisten der Luftpumpe an *beiden* Enden der Röhre haben dann für gewisse, stets gleichmäfsige Spannungen der Luft zu sorgen, ohne dafs weiter eine Correspondenz zwischen ihnen und dem Wagenführer nothwendig wäre.

H. So also könnte der *electrische Telegraph* erspart werden. Zwar ist auf diese Weise ein *stärkerer Luft-Aufwand* nothwendig, da es nach der obigen Beschreibung vorkommt, dafs *verdichtete Luft ins Freie* zu entlassen ist und also *verloren* geht. Indessen wirkt das Mittel jedenfalls *schneller,* als Das, was die Maschinisten an der Luftpumpe oder an den Behältern zu thun im Stande sind; denn Das was Diese thun können, thut hier auf umgekehrtem Wege der Wagenführer selbst, und es wird also jedenfalls die Zeit erspart, die nöthig ist, den Maschinisten zu beauftragen; auch wird die bedeutende Gefahr vermieden, die entstehen kann, wenn der Maschinist nicht etwa augenblicklich *bereit* ist, die Anweisung des Wagenführers zu befolgen, oder dieselbe gar *mifsversteht.* Besonders für *schwierige* Fälle, nemlich für die Bergan- oder Bergabfahrt auf *sehr steilen und langen Abhängen,* dürfte daher die Anwendung des Mittels *nothwendig* und des mehreren Aufwandes von Kraft wohl werth sein.

I. Für das *Hemmen,* wenigstens für das Mäfsigen der Geschwindigkeit, und selbst um den Wagenzug nöthigenfalls zum *Stillstand* zu bringen, ist das Mittel offenbar ebenfalls geeignet und aus den so eben in (*H.*) bemerkten Gründen besser, als Das, was der Maschinist an der Luftpumpe dazu zu thun im Stande ist. Zu dem *sehr* schnellen und *plötzlichen* Hemmen wird indessen immer das gewöhnliche Mittel der *Hemmschuhe* zu Hülfe genommen werden müssen.

K. Das Mittel würde auf gewisse Weise auch für Triebröhren mit *verdünnter* Luft anwendbar sein; hier aber nur mit noch stärkerem Mehr-Aufwande von Kraft.

XVIII. Luft- und Kraftbedarf für das Eisenbahnsystem No. IV. §. 4.

62.

A. Hier ist die längs der Bahn zwischen den Schienen liegende Röhre der ***Behälter,*** aus welchem der Luftwagen die zur Fortschaffung des Wagenzuges nöthige Kraft ***zusammengepreſster*** Luft zu schöpfen hat. Die Triebröhre muſs also nicht allein so viel ***Luftmasse*** herzugeben im Stande sein, als der Luftwagen bedarf, sondern sie muſs auch an jeder Stelle der Bahn, und folglich auch auf den ***stärksten*** Abhängen, so wie noch am Ende der Fahrt, Luft von derjenigen ***Spannung*** enthalten, die zur Hervorbringung der Triebkraft nöthig ist. Der Überschuſs an Spannung über die der atmosphärischen Luft, welchen die Luft in der Triebröhre ***am Ende der Fahrt*** noch, der nöthigen Triebbraft wegen, besitzen muſs, wird aber in der Regel ***verloren*** gehen, wenn nicht etwa die Röhre ***sogleich*** wieder zu der ***Rückfahrt*** oder ***Hinfahrt*** eines andern Wagenzuges benutzt werden kann; denn, wenn sie längere Zeit in der Röhre bleibt, wird sie durch die nie ganz dichte Längsklappe entweichen.

B. Die zur Ersteigung des ***stärksten*** Abhanges β_m der Bahn nöthige Spannung der Luft in der Triebröhre werde, wie oben, durch μ_m, die am ***Ende*** der Fahrt noch für den dortigen Abhang β_z nöthige Spannung durch μ_z bezeichnet. Wir wollen den ***günstigsten*** Fall annehmen, nemlich, daſs nicht allein der ***stärkste*** Abhang gerade am ***Anfang*** der Fahrt vorkomme, sondern daſs auch die Abhänge überhaupt von der Art sind, daſs die Spannung der Luft in der Triebröhre, so wie sie ***allmälig*** durch den Luftwagen ***ausgeschöpft*** wird, immer noch hinreiche; also auch am ***Ende*** der Fahrt nur noch die ***schwächste*** Spannung nöthig sei. Häufig wird es sich weniger günstig verhalten; es können erst entfernt von dem Anfange, und selbst erst nahe am Endpunct, die ***stärksten*** Gefälle sich befinden, so daſs selbst die für die ***stärksten*** Gefälle nöthige Spannung der Luft ***zuletzt*** noch in der Triebröhre übrig bleiben muſs, und also ***verloren*** geht.

In dem angenommenen günstigsten Falle muſs die Triebröhre, wenn, wie oben, ihr Durchmesser $=\delta$ und die Länge der Bahn $=L$ ist, am ***Anfang*** der Fahrt $\frac{1}{4}\pi\delta^2 L(1+\mu_m)$ und am ***Ende*** der Fahrt noch $\frac{1}{4}\pi\delta^2 L(1+\mu_z)$ C.F. atmosphärische Luft enthalten.

C. Bezeichnet man nun, ebenfalls wie oben, den Bedarf an Luft zu der Fahrt durch S, so mufs die Luftmasse, welche während der Fahrt aus der Röhre ausgeschöpft wird, dem Unterschiede der beiden obigen Massen gleich sein. Dieses giebt

$$510.\quad S = \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L(1+\mu_m - 1 - \mu_z) = \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L(\mu_m - \mu_z),$$

und diese Gleichung bestimmt den der Röhre nöthigen *Durchmesser* δ. Sie giebt

$$511.\quad \delta^2 = \frac{4S}{\pi L(\mu_m - \mu_z)}.$$

D. Aber S ist nicht diejenige Luftmasse, welche eigentlich die Fahrt kostet. Diese letztere, welche durch S_m bezeichnet werden mag, ist die *gesammte* Luftmasse, welche am *Anfange* über die Spannung der atmosphärischen Luft hinaus in der Röhre enthalten war, indem das, was am Ende der Fahrt davon noch übrig bleibt, nach der Bemerkung in (*A.*) durch die nie ganz dichte Längsklappe *entweichen* wird, wenn nicht die Röhre sogleich wieder zu einer Rückfahrt sich benutzen läfst. Die Fahrt wird also *in der Regel*

$$512.\quad S_m = \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L\mu_m \text{ Cub. F.}$$

oder, den Werth von δ^2 aus (511.) substituirt,

$$513.\quad S_m = S\cdot\frac{\mu_m}{\mu_m - \mu_z} \text{ C. F. atmosphärische Luft}$$

kosten.

E. Für die Bestimmung der auf den Abhängen β_m und β_z nöthigen Spannung der Luft in der Röhre kann man der Allgemeinheit wegen auf einen Luftwagen von der *zweiten* Art rechnen, in dessen Cylinder die zusammengeprefste Luft nicht während des *ganzen* Kolbenlaufs λ, sondern nur für den Theil

$$514.\quad k = \frac{\lambda}{1+\mu_1} \quad (340.)$$

desselben eingelassen wird; was denn nach (§. 46.) für die Spannung μ_1 ein Maximum der Wirkung giebt. Denn der Fall eines Luftwagens *erster* Art ergiebt sich daraus unmittelbar, wenn man $\mu_1 = 0$ setzt.

Für einen Luftwagen *zweiter* Art giebt die allgemeine Formel (378.), sowohl die für den *stärken* Abhang β_m, als für den Abhang β_z am *Ende* der Fahrt, nöthige Spannung der Luft, nemlich:

$$515.\quad 1+\mu_m = \frac{1+\mu_1}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\left[1+\frac{QD(n+\text{tang}\,\beta_m)}{\Delta^2\lambda\sigma}\right] \text{ und}$$

$$516.\quad 1+\mu_z = \frac{1+\mu_1}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\left[1+\frac{QD(n+\text{tang}\,\beta_z)}{\Delta^2\lambda\sigma}\right].$$

F. Aus (515. und 516.) folgt

517. $$\mu_m - \mu_z = \frac{1+\mu_1}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)} \cdot \frac{QD(\text{tang}\,\beta_m - \text{tang}\,\beta_z)}{\varDelta^2\lambda\sigma} \quad \text{und}$$

$$\mu_m = \frac{1+\mu_1}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)} \cdot \frac{\varDelta^2\lambda\sigma + QD(n+\text{tang}\,\beta_m)}{\varDelta^2\lambda\sigma} - 1 \quad \text{oder}$$

518. $$\mu_m = \frac{(\mu_1 - \log\text{nat}(1+\mu_1))\varDelta^2\lambda\sigma + (1+\mu_1)QD(n+\text{tang}\,\beta_m)}{(1+\log\text{nat}(1+\mu_1))\varDelta^2\lambda\sigma}.$$

Dies in (513.) gesetzt, giebt

519. $$S_m = S \cdot \frac{(\mu_1 - \log\text{nat}(1+\mu_1))\varDelta^2\lambda\sigma + (1+\mu_1)QD(n+\text{tang}\,\beta_m)}{(1+\mu_1)QD(\text{tang}\,\beta_m - \text{tang}\,\beta_z)}.$$

G. Hierin wäre nun noch der Ausdruck der zur Fahrt nöthigen Luftmasse zu substituiren, die ebenfalls von μ_1 abhängt.

Nehmen wir eine Bahn an, in welcher keine Stelle so steil ist, dafs die Wagen blofs von der Kraft der Schwere getrieben hinunterrollten, was ziemlich der günstigste Fall für das gegenwärtige System sein würde, indem alsdann die nöthige stärkste Spannung am geringsten ist, und lassen der Kürze wegen die zur ersten Hervorbringung der Geschwindigkeit nöthige Luftmasse aufser Acht, so giebt der Ausdruck (440.) den Werth von S. Also ist für diesen Fall in (519.)

520. $$S_m = \frac{L(QD(n+\text{tang}\,\gamma)) + \varDelta^2\lambda\sigma)}{(1+\log\text{nat}(1+\mu_1))D\sigma} \cdot \frac{(\mu_1 - \log\text{nat}(1+\mu_1))\varDelta^2\lambda\sigma + (1+\mu_1)QD(n+\text{tang}\,\beta_m)}{(1+\mu_1)QD(\text{tang}\,\beta_m - \text{tang}\,\beta_z)},$$

wenn man durch γ den Winkel bezeichnet, welchen eine durch den Anfangs- und den Endpunct der Bahn gezogene gerade Linie mit dem Horizonte machen würde; denn um die Formel (440.), die für eine einzelne, um β geneigte Bahnstrecke gilt, auf die ganze Bahn auszudehnen, mufs man nach (§. 35. *G.*) die ***algebraische*** Summe des Steigens und Fallens der Bahn in Rechnung bringen.

H. Aus der Formel (520.) müfste man nun dasjenige μ_1 suchen, welches für S_m ein Minimum giebt, insofern alle übrigen darin vorkommenden Gröfsen, namentlich auch der Durchmesser $\varDelta$ der Cylinder des Luftwagens und die Länge λ des Kolbenlaufs, als bestimmt vorausgesetzt werden.

Aber da sich dann S nach μ_1 richtet, und der Durchmesser der Triebröhre δ (511.) ebenfalls, so könnte daraus ein nicht passendes δ folgen. Der Durchmesser der Triebröhre ist vielmehr so ziemlich im Voraus bestimmt. Er

darf ***nicht zu klein*** sein, nicht gut unter 14 Zoll, weil sonst die Längsklappe und ihre Bewegung nicht wohl ausführbar ist, und auch ***nicht zu grofs***, weil sonst die Röhre gar zu kostbar wird.

Es kommt also zufolge (512.) insbesondere darauf an, dafs μ_m so klein sei, als möglich; jedoch mufs dieses μ_m auch noch wieder in (510.) das nöthige S geben. Gemäfs (510.) ist

$$521.\quad \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L\mu_m = S + \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L\mu_z,$$

also kann S_m (512.), statt wie in (512.), auch durch

$$522.\quad S_m = S + \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L\mu_z$$

ausgedrückt werden.

Hierin die Ausdrücke von S (440.) und von μ_z (516.) gesetzt, giebt

$$S_m = \frac{L}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\,\frac{QD(n+\text{tang}\,\gamma)+\varDelta^2\lambda\sigma}{D\sigma}$$
$$+\tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L\,\frac{(\mu_1-\log\text{nat}(1+\mu_1))\varDelta^2\lambda\sigma+(1+\mu_1)QD(n+\text{tang}\,\beta_z)}{(1+\log\text{nat}(1+\mu_1))\varDelta^2\lambda\sigma}\quad\text{oder}$$

$$523.\quad S_m = \frac{L}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\Big[\frac{Q}{\sigma}\Big(n+\text{tang}\,\gamma+(1+\mu_1)\frac{\pi\delta^2 D}{4\varDelta^2\lambda}(n+\text{tang}\,\beta_z)\Big)$$
$$+\frac{\varDelta^2\lambda}{D}+\tfrac{1}{4}\pi\delta^2(\mu_1-\log\text{nat}(1+\mu_1))\Big].$$

Für diese Formel müfste man nun dasjenige μ_1 suchen, welches das ***kleinste*** S_m giebt. Das Resultat würde aber nur durch Reihen zu finden sein, und im allgemeinen wird man durch einige Proben, nach der Formel (522.), leichter zum Ziele kommen.

63.

A. Nachdem S_m gefunden ist, kommt es auf die Kraft an, welche die ***Luftpumpe*** haben mufs, um so viel Luft, als die Triebröhre bedarf, von der Spannung 1 an, bis zur Spannung $1+\mu_m$ zusammenzupressen. Dieses ist dann die zu ***einer*** Fahrt nöthige ***Kraft.***

B. Nach (§. 23. 76.) ist, um in einem Raume b die Luft von der Spannung $1+\lambda$ auf die Spannung $1+\nu$ zu bringen, das Kraftmoment

$$524.\quad N = \tfrac{1}{2}\sigma b(\nu^2-\lambda^2)$$

nöthig.

Wenn ν und λ, wie es hier der Fall sein kann, ***sehr*** verschieden sind, so kann ein- und derselbe Kolben der Luftpumpe nicht die ganze Zusammen-

pressung verrichten; denn die Kraft zum Niederdrücken des Luftkolbens wächst zu stark. Beim *ersten* Kolbenschlage ist sie nach (74.),

$$525. \quad = k\sigma\left(\lambda + \tfrac{1}{2}\frac{k}{b}\right),$$

vor dem *letzten* $n$ten Kolbenschlage

$$526. \quad = k\sigma\left(\lambda + (n-\tfrac{1}{2})\frac{k}{b}\right) = k\sigma\left(\lambda + (\nu - \lambda - \tfrac{1}{2})\frac{k}{b}\cdot\frac{b}{k}\right) = k\sigma(\nu - \tfrac{1}{2}),$$

also etwa ebensovielmal so grofs, als es ν gegen λ ist.

Man wird daher *absatzweise* Kolben, der Reihe nach entweder von geringerer *Fläche* oder von geringerem *Hube*, in Bewegung setzen müssen, wenn man will, dafs einigermaafsen die Maschine, welche die Luftpumpe treibt, eine nicht gar zu verschiedene Kraft anzuwenden habe, oder die Bewegung nicht ungleichförmig ausfalle und auf die Schwungräder zu viel gerechnet werden müsse.

C. Man setze also, die Luft werde zunächst durch einen gröfsern Kolben von der Spannung λ auf die Spannung ν_1 gebracht, und zwar durch m_1 Pferdekräfte in t_1 Secunden; hierauf durch einen etwas kleineren Kolben von der Spannung ν_1 auf die Spannung ν_2 durch m_2 Pferdekräfte in t_2 Secunden; ferner durch einen noch kleineren Kolben von der Spannung ν_2 auf die Spannung ν_3 vermittels m_3 Pferdekräfte in t_3 Secunden u. s. w. Alsdann mufs, wenn man die zugehörigen Momente durch N_1, N_2, N_3, ... bezeichnet, nach (81.)

$$527. \quad m_1 t_1 \varphi = N_1, \quad m_2 t_2 \varphi = N_2, \quad m_3 t_3 \varphi = N, \quad \ldots.$$

sein.

Will man nun, dafs die Zahl der nöthigen Pferdekräfte für die verschiedenen Theile der Zusammenpressung *dieselben* bleiben, also dafs

$$528. \quad m_1 = m_2 = m_3 \ldots. = m$$

sei, so giebt (527.), wenn man die *Summe* nimmt,

$$529. \quad m(t_1 + t_2 + t_3 \ldots.)\varphi = N_1 + N_2 + N_3 \ldots.,$$

oder, wenn die gesammte Zusammenpressung in t Secunden geschehen soll, so dafs

$$530. \quad t_1 + t_2 + t_3 \ldots. = t$$

ist,

$$531. \quad mt\varphi = N_1 + N_2 + N_3 \ldots.$$

Nun ist gemäfs (524.)

$$532.\quad \begin{cases} N_1 = \frac{1}{2}\sigma b(\nu_1^2 - \lambda^2), \\ N_2 = \frac{1}{2}\sigma b(\nu_2^2 - \nu_1^2), \\ N_3 = \frac{1}{2}\sigma b(\nu_3^2 - \nu_2^2), \\ \dots\dots\dots \\ N_n = \frac{1}{2}\sigma b(\nu^2 - \nu_{n-1}^2). \end{cases}$$

Also giebt (531.)

$$533.\quad mt\varphi = \tfrac{1}{2}\sigma b(\nu^2 - \lambda^2) \text{ und}$$

$$534.\quad m = \frac{\frac{1}{2}\sigma b(\nu^2 - \lambda^2)}{t\varphi}.$$

D. Für die Systeme I. II. und III. §. 4. mit Lufttriebröhren, in welchen der Kolben entweder von der verdünnten Luft gleichsam nach sich gezogen, oder von der zusammengeprefsten Luft vor sich hergetrieben wird, müssen die Luftpumpen unbedingt so stark sein, dafs sie die zur Fahrt nöthige Luftmasse *während* der Fahrt, also in sehr kurzer Zeit liefern; was denn *sehr* starke Maschinen erfordert. In diesem Falle sind *besondere* Behälter, in welchen man die Luft zuvor mit gröfserer Mufse verdünnt, oder in welchen man sie vorher zusammenprefst, um sie hernach aus der Triebröhre blofs vermittels eines Hahnes in die Behälter, oder umgekehrt, die verdichtete Luft aus den Behältern in die Triebröhre strömen zu lassen, besonders nützlich und nöthig; wie solches weiter oben nachgewiesen worden ist. Hier bei No. IV., wo die Luftpumpe *während* der Fahrt nichts weiter zu thun hat, als das, was durch die Längsklappe entweicht, zu *ersetzen*, sind besondere Behälter weniger nothwendig; sie würden sogar vielleicht nicht einmal vortheilhaft sein, da in denselben die Luft jedenfalls *stärker* zusammengeprefst werden müfste, als es für die Triebröhre nöthig ist. Hier also wird man anzunehmen haben, dafs die Luftpumpe die Luft *unmittelbar* in die Triebröhre treiben solle. Man mufs aber dann für den Verlust durch die Längsklappe *während* des Pumpens einen zu der Dauer desselben im Verhältnifs stehenden Theil zu dem Bedarf hinzusetzen.

E. Das Volumen der Triebröhre ist

$$535.\quad b = \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L,$$

und da die Luft von der Spannung 1 bis auf die Spannung $1+\mu_m$ zusammengeprefst werden soll, so ist $\lambda = 0$ und $\nu = \mu_m$, mithin in (534.)

$$536.\quad m = \frac{\frac{1}{2}\sigma \cdot \frac{1}{4}\pi\delta^2 L \cdot \mu_m^2}{t\varphi} = \frac{\pi\delta^2 L\sigma\mu_m^2}{8t\varphi},$$

oder auch, zufolge (512.),

$$537.\qquad m = \frac{\sigma S_m \mu_m}{2t\varphi}.$$

Dies ist die Anzahl der Pferdekräfte, welche die die Luftpumpen in Bewegung setzenden Maschinen haben müssen, um in t Secunden die zu einer Fahrt nöthige Luftmasse S_m in der Triebröhre auf die Spannung μ_m zu bringen; und wegen des Verlustes durch die Längsklappe mufs man einen verhältnifsmäfsigen Theil *zusetzen.*

64.

Zu einem Beispiel wollen wir wieder die Eisenbahn zwischen Berlin und Potsdam annehmen. Sie eignet sich dazu, wenigstens für die Fahrt von Berlin nach Potsdam; denn die *stärksten* Gefälle befinden sich da wirklich so ziemlich am Anfange und nehmen auch nach dem Ende der Bahn hin so ziemlich fortwährend ab. Bei Potsdam liegt die Bahn *horizontal.*

Die Länge dieser Bahn L ist $= 84\,000$ F. und der Endpunct bei Potsdam liegt 7 F. höher als der Anfangspunct bei Berlin. Das *stärkste* Gefälle β_m ist 1 auf 300.

A. Da hier keine Gefälle vorkommen, auf welchen die Wagen blofs von der Schwere getrieben hinabrollten, so ist zufolge (216.) für die *erste* Art von Luftwagen der Luftbedarf, welcher durch S_0 bezeichnet werden mag,

$$538.\qquad S_0 = L\left(\frac{\Delta^2\lambda}{D} + \frac{nQ}{\sigma}\right) + H_1\frac{Q}{\sigma}$$
$$+ \frac{c^2}{4g(\text{tang}\,\beta_m - \text{tang}\,\beta_0)}\,\frac{\lambda^2}{D^2}\left(\Delta^2\frac{\lambda}{D} + \frac{Q}{\sigma}(n + \text{tang}\,\beta_1)\right),$$

wo β_m den stärksten Abhang bezeichnet, also $\frac{1}{300}$ ist, β_0 den Abhang am *Anfange* der Bahn, wo die Geschwindigkeit c, die 40 F. sein mag, hervorgebracht werden soll, und der 0 ist, und H_1 die Höhe des Endpuncts über dem Anfangspunct, welcher $= 7$ F. ist. Das Gewicht der Wagen Q werde wie in (§. 37.) $= 1800$ Ctr. gesetzt.

B. Da zufolge (515. und 516.) μ_m und μ_z um so kleiner sind, je gröfser man den Durchmesser Δ und die Länge λ der Cylinder des Luftwagens annimmt, so setzen wir diese sogleich möglichst grofs, nemlich, wie in (452.), $\Delta = 1$ und $\lambda = 1\frac{1}{2}$. Nimmt man dann, wie weiter oben, $D = 5$ F. und $n = \frac{1}{250}$ an, so ergiebt sich in (538.)

$$539.\qquad S_0 = 57\,246 \text{ C. F.}$$

C. **Nun ist weiter für (515.), nemlich für den stärksten Abhang $\tan\beta_m = \frac{1}{360}$, wie schon in (453.) berechnet,**

$$540.\quad 1+\frac{QD(n+\tan\beta_m)}{\Delta^2\lambda\sigma} = 3{,}75.$$

Für (516.), nemlich für den Abhang $\tan\beta_2 = 0$ am Ende der Fahrt, ist

$$541.\quad 1+\frac{QDn}{\Delta^2\lambda\sigma} = 2{,}5.$$

Das Erste giebt, wie in (454.), wenn man in (515.) die verschiedenen Werthe von μ_1 setzt,

542. Für $\mu_1 = 0$, 1, 2, 3, 4, 5, 6: $\mu_m = 2{,}75$, 3,424, 4,364, 5,286, 6,187, 7,057, 7,909.

Das Andere giebt

543. Für $\mu_1 = 0$, 1, 2, 3, 4, 5, 6: $\mu_2 = 1{,}5$, 1,949, 2,576, 3,191, 3,791, 4,371, 4,940,

also

544. Für $\mu_1 = 0$, 1, 2, 3, 4, 5, 6: $\mu_m - \mu_2 = 1{,}25$, 1,475, 1,788, 2,095, 2,396, 2,686, 2,969.

D. Andrerseits giebt (538.), weil nach (§. 51. *G.*)

$$545.\quad S = \frac{S_0}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}$$

ist, wenn man die Werthe von $1+\log\text{nat}(1+\mu_1)$ aus (439.) nimmt,

546. Für $\mu = 0$, 1, 2, 3, 4, 5, 6: $S = 57246$, 33815, 27295, 23992, 21942, 20500, 19429.

E. Setzt man den Durchmesser der Triebröhre $\delta = 1\frac{1}{6}$ F., so ist ihr Inhalt

$$547.\quad \tfrac{1}{4}\pi\delta^2 L = \tfrac{1}{4}\cdot 3\tfrac{1}{7}\cdot 1\tfrac{1}{6}^2\cdot 84000 = 89833 \text{ C. F.}$$

Da nun nach (510.) dieser Inhalt, mit dem *Unterschiede* $\mu_m - \mu_2$ der beiden *nothwendigen* Spannungen der Luft multiplicirt, den Luftbedarf S zu der Fahrt geben mufs, so sieht man aus (546. 547. und 544.), dafs schon der *geringste* Werth 0 von μ *mehr* giebt als nöthig ist; denn schon für $\mu_1 = 0$ ist $\mu_m - \mu_2 = 1{,}25$ und $\frac{1}{4}\pi\delta^2 L(\mu_m - \mu_2) = 112291$, während nach (546.) für $\mu_1 = 0$ nur ein S von 57246 nothwendig ist. Es ist also hier ein Luftwagen *erster* Art an seiner Stelle, und die Luft darf nach (542.) in der Triebröhre nur auf die überschüssige Spannung $\mu_m = 2{,}75$ zusammengeprefst werden.

Dies giebt denn nach (512.)

$$548.\quad S_m = 89833\cdot 2{,}75 = 247041.$$

F. Setzt man nun, dafs in 12 Stunden 12 Fahrten gemacht werden sollen, so passirt der Kolben die Röhre jede Stunde einmal. Also mufs die nöthige stärkste Spannung der Luft in der Röhre von den Pumpen in *einer Stunde* hergestellt werden können. Davon geht die Dauer der Fahrt ab, für welche, wenn man z. B. die ganze Länge der Bahn in 4 Theile theilt und die Maschinen in die Theilungspuncte setzt, 10 bis 12 Minuten zu rechnen sind, so dafs für die Arbeitszeit der Luftpumpen 48 bis 50 Minuten bleiben. Da aber die Luftpumpen auch dann noch Kraft genug haben müssen, wenn etwa ausnahmsweise Fahrten *schneller* auf einander folgen, so wird man wenigstens rechnen müssen, dafs sie im Stande sein sollen, die Luft in der Triebröhre in einer *halben Stunde* bis auf die nöthige Spannung zu bringen. Demnach ist für (537.) $t = 30 \cdot 60 = 1800$ und also

$$549. \quad m = \frac{18 \cdot 110 \cdot 247041 \cdot 2{,}75}{2 \cdot 1800 \cdot 400} = 934 \text{ Pferdekräfte.}$$

G. Hiezu kommen zunächst die überall angenommenen 10 pr. c. für die Reibung der Maschinentheile etc., also noch 93 Pferdekräfte. Geschehen die Fahrten regelmäfsig, nemlich so, dafs gleich nach einer vollendeten Hinfahrt die Röhre wieder zu einer Rückfahrt innerhalb einer Stunde vollzupumpen ist, so ist weiter *kein* Verlust durch die Klappe anzusetzen, sondern er ist schon reichlich dadurch in Rechnung gebracht, dafs man S_m statt S einzupumpen verlangt hat, und dafs also vorausgesetzt ist, es gehe jetzt *während* des Pumpens so viel verloren, als die ganze, zuletzt noch übrig bleibende überschüssige Spannung beträgt. In der That rechnet man im Fall *regelmäfsiger* Fahrten *zu viel;* denn das gefundene m reicht zufolge (§. 63. *C.*) hin, um in der Triebröhre die Spannung der Luft *von der der Atmosphäre* 1 auf die nöthige *stärkste* Spannung μ_m zu bringen; freilich ohne Rücksicht auf Das, was während des Einpumpens durch die Längsklappe verloren geht. Bei *regelmäfsigen* Fahrten geht indessen die, zuletzt nach Ausschöpfung des Luftbedarfs S und nach Abzug der während der Fahrt durch die Klappe entweichenden Luft noch übrig bleibende Spannung *nicht* verloren, sondern die Luftpumpe hat diese übrig bleibende Spannung nur wieder bis auf μ_m zu erhöhen. Gleichwohl müssen die Maschinen die obige Kraft haben; nicht gerade nach der Ruhe während der Nacht, weil sie dann vor dem Anfang der Fahrten auch länger arbeiten können, sondern für etwa ausgebliebene Züge und für andere Zufälle. Während also die gefundene Kraft für den Verlust durch die Klappe allerdings mehr als ausreichen wird, dürfte dennoch diese Kraft nöthig sein.

Man wird also

$$550. \quad m = 934 + 93 = 1027 \text{ Pferdekräfte}$$

anzusetzen haben.

XIX. Luft- und Kraftbedarf für das Eisenbahnsystem No. V. §. 4.

65.

A. Auch hier sind ***besondere*** Behälter, in welchen man erst die Luft zusammenprefst, ehe sie in die vom Luftwagen mitfortgeführten Behälter gelangt, weder ***nothwendig***, noch ***vortheilhaft***. Sie sind nicht ***nothwendig***, weil die Behälter auf dem Luftwagen keine undichten Klappen haben, durch welche die Luft während der Mufse des Wagens entweichen könnte, vielmehr durch die Hähne vollkommen luftdicht verschlossen werden können, auch aufserdem nichts hindert, entweder die Luftwagen mit ihren Behältern nach der Luftpumpe hinzubringen, um sie dort vollpumpen zu lassen, oder aber, wenn örtliche Umstände dies erschweren sollten, ihnen die zusammengeprefste Luft von der Luftpumpe her durch eine Röhre zuführen zu lassen. ***Unvortheilhaft*** aber würden sie sein, weil in den besondern Behältern die Luft jedenfalls erst ***stärker*** zusammengeprefst werden müfste, als es für die transportabeln Behälter ***nothwendig*** ist. Die Vortheilhaftigkeit, ja beinahe Nothwendigkeit besonderer Behälter für alle Eisenbahnsysteme ***mit Lufttriebröhren***, welche undichte Längsklappen haben müssen, findet hier nicht Statt, sondern besondere Behälter würden hier nur unnütze Anlagekosten und unnützen Kraft-Aufwand verursachen. Die Luftpumpen haben also hier die Luft ***unmittelbar*** in die auf dem Luftwagen befindlichen transportabeln Behälter zu treiben.

B. Sodann findet hier, wie schon vorhin bemerkt, ***kein*** Verlust an zusammengeprefster Luft durch ***Undichtigkeit*** der Behälter Statt. Sie brauchen also nur gerade so viel Luft zu enthalten, als zur bewegenden Kraft nöthig ist; unter der Bedingung, dafs die Luft an allen Stellen der Bahn, und also auch noch am Ende der Fahrt, die nöthige Spannung besitze. Die am Ende der Fahrt übrig bleibende Spannung geht aber ***nicht verloren***, sondern darf nur durch die Luftpumpe für eine neue Fahrt wieder bis zu der stärksten nöthigen Spannung erhöht werden.

Dafs die stärksten Abhänge gerade noch am Ende der Fahrt zu ***ersteigen*** seien, läfst sich offenbar durch die Anordnung des Werks ***immer*** vermeiden. Man darf nur die Stationen niemals auf die ***höchsten*** Puncte

der Bahn legen, sondern in die *niedrigsten* Puncte und unfern des *Fuſses* des stärksten Abhanges. Es wird also wohl *immer* ganz hinreichend sein, wenn man annimmt, daſs die transportabeln Behälter am Ende der Fahrt noch die für die Fahrt auf *horizontaler* Bahn nöthige Luftkraft enthalten sollen. Es ist aber sogar nicht einmal nöthig, daſs diese Spannung noch am Ende der Fahrt in *allen* den einzelnen Cylindern, welche zusammen den transportabeln Behälter ausmachen, enthalten sei; sondern es ist hinreichend, wenn nur noch *einige* der Cylinder sie enthalten: denn auf den *fallenden* Stellen können die andern Cylinder weiter, und selbst bis auf den Überschuſs Null der Spannung über die der Atmosphäre, ausgeschöpft werden, sollte auch gerade kein *Einpumpen* von Luft auf stärker fallenden Stellen vorkommen. Da indessen das System mit transportabeln Behältern, wie sich zeigen wird, von allen das beste ist, so wollen wir, um dies um so stärker zu beweisen, für dasselbe die *ungünstige* Bedingung setzen, daſs der *ganze* Behälterraum am *Ende* der Fahrt noch so viel Luftspannung haben solle, als zur Fahrt auf *horizontaler* Bahn nothwendig ist.

C. Da es ferner einerseits offenbar gut sein wird, daſs ein Luftwagen mit seiner Kraft auf eine *so lange* Bahnstrecke als nur möglich vorhalte, um nicht wechseln und Luftpumpen auf den Stationen bauen zu dürfen, andrerseits aber auch gewünscht werden muſs, daſs die Behälter auf dem Luftwagen so wenig als möglich *Raum* einnehmen, so beschränken wir die *stärkste* Spannung der Luft nicht auf diejenige, welche zum Ersteigen der *stärksten Abhänge* nöthig ist, sondern gehen damit so weit, als es sonst vortheilhaft und ohne Gefahr des *Zerspringens* der Behälter rathsam sein dürfte.

Man macht ohne Bedenken *Dampfkessel* bis für *8 Atmosphären* wirksamer Spannung. Also wird es gewiſs nicht zu viel sein, wenn wir 16 Atmosphären für das *Maximum* der den *Luftbehältern* aus gewalztem Eisenblech zu gebenden Spannung annehmen. Denn die Spannung des Dampfs kann durch mehrere Umstände unvorhergesehen noch *zunehmen*, z. B. wenn des Wassers in dem Dampfkessel zu wenig ist, wenn das Sicherheitsventil versagt u. s. w.; auch zerstört der Dampf allmälig mehr oder weniger die Behälter, in welchen er eingeschlossen ist. Alles dieses ist bei Luftbehältern *nicht* der Fall. Die Spannung der Luft kann *nie* über das ihr bestimmte Maaſs, welches sich mit voller Sicherheit durch Manometer messen läſst, steigen, sondern nimmt umgekehrt *während* der Fahrt *immer* und unbedingt *nur* ab. Sicherheitsventile sind daher hier auch, wenigstens *während* der Fahrt, völlig unnöthig, und

eine zerstörende Kraft, außer der der Spannung, übt die zusammengepreßte Luft auf die Behälter nicht aus. Desgleichen findet die Gefahr des Zerspringens, wenn sie ja nicht ganz entfernt worden sein sollte, nur mehr *vor* als *während* der Fahrt, wo die Spannung fortwährend *abnimmt*, Statt. Bei Dampfwagen ist es eher umgekehrt. Die Gefahr läßt sich indessen ohne Zweifel entfernen, wenn man den Wänden der Luftbehälter, eben wie denen der Dampfkessel, das *Dreifache* der ihnen eigentlich nöthigen Widerstandskraft giebt. Auch sind die einzelnen Behälter stets von *allen* Seiten *sichtbar*, anders wie die Dampfkessel, und endlich, wenn ja im unglücklichen Fall eine Zersprengung erfolgen sollte, wird sie weniger gefährlich sein, als die eines Dampfkessels; denn es giebt hier kein siedendes Wasser und kein Feuer; auch wird nicht, wie beim Dampf, der *ganze* Behälter, sondern gewiß immer nur *ein einzelner* Cylinder bersten, und wenn es nicht gerade einer ist, der *außerhalb* liegt, und der Cylinder nicht bloß *birst*, sondern, was wenig wahrscheinlich, Stücke aus seinen Wänden ausgerissen und fortgeschleudert werden, so wird die Gefahr noch durch die um ihn herumliegenden Cylinder gemäßigt oder abgewendet werden.

Nach diesen Vorausbemerkungen ist also zu rechnen.

66.

A. Der Inhalt der Behälter, welche der Luftwagen mit sich fortführt, werde durch b bezeichnet, die am *Ende* der Fahrt noch nöthige Spannung der Luft in den Behältern, wie in §. 62. durch $1+\mu_z$, die Spannung am *Anfange* der Fahrt, also die *stärkste* Spannung der Luft, die hier nicht nach der zur Ersteigung des *stärksten* Abhanges β_μ der Bahn nöthigen Spannung $1+\mu_\mu$ sich richten, sondern darüber hinausgehen soll, durch $1+\mu_a$, so daß also während der Fahrt $(1+\mu_a-(1+\mu_z))b=(\mu_a-\mu_z)b$ Cub. F. atmosphärische Luft zum Ausschöpfen vorhanden sind. Alsdann muß diese Luftmasse dem *Bedarf* S an Luft zu der Fahrt *gleich*, also

$$551.\quad b(\mu_a-\mu_z)=S$$

sein, woraus

$$552.\quad b=\frac{S}{\mu_a-\mu_z}$$

für die nöthige *Größe der Behälter* folgt, wenn μ_a im Voraus bestimmt ist, und

$$553.\quad \mu_a=\frac{S}{b}+\mu_z$$

für die nöthige *stärkste Spannung*, wenn man die *Gröfse* der Behälter im Voraus bestimmt hat; wobei vorausgesetzt wird, dafs mit der Spannung μ_s jedenfalls noch die stärksten Abhänge erstiegen werden können, nachdem sie bis zu der Stelle hin, wo diese stärksten Abhänge sich befinden, durch das Ausschöpfen vermindert worden ist.

B. Da unter dieser Bedingung der Luftbedarf S durchaus nicht von μ_s abhängt, sondern blofs von den Abhängen der Bahn und der fortzuschaffenden Last, so sieht man aus (552. und 553.), dafs sowohl der Behälterraum b für eine vorausbestimmte stärkste Spannung μ_s, als diese für einen gegebenen Behälterraum b um so kleiner ist, je kleiner S sein kann. Und da nun S um so kleiner ist, auf einen je kleineren Theil $k=\frac{k}{1+\mu_1}$ man die Einströmung der zusammengeprefsten Luft in die Cylinder beschränkt, also je gröfser man μ_1 annimmt, so folgt, dafs hier jedenfalls Luftwagen von der *zweiten* Art an ihrer Stelle sind. Auch ist noch S, wie aus dem Ausdruck (440.) zu sehen, um so kleiner, je kleiner Δ und λ, das heifst je kleiner die Cylinder des Luftwagens sind, oder auch, je gröfser der Durchmesser D der Triebräder ist. Was indessen μ_1 betrifft, so darf es nicht so grofs angenommen werden, dafs dadurch etwa die nach der Formel (515.) zur Ersteigung der stärksten Abhänge β_m nöthige Luftspannung gröfser sei, als μ_s sein soll.

C. Die am Ende der Fahrt in den Behältern übrig bleibende Luftspannung $1+\mu_z$ ist für eine neue Fahrt durch die Luftpumpen wieder bis auf die Spannung $1+\mu_s$ zu erhöhen, und dazu sind nach (534.)

$$554.\quad m=\frac{\sigma b(\mu_s^2-\mu_z^2)}{2t\varphi}$$

Pferdekräfte an den Luftpumpen nöthig. In diesen Ausdruck den von b (552.) gesetzt, giebt

$$555.\quad m=\frac{\sigma(\mu_s^2-\mu_z^2)}{2t\varphi}\cdot\frac{S}{\mu_s-\mu_z}=\frac{S\sigma(\mu_s+\mu_z)}{2t\varphi}.$$

Die Luftpumpen können hier *ununterbrochen* Tag und Nacht arbeiten. Werden etwa, in Ausnahmefällen, Luftwagen schneller hinter einander gebraucht, als es für den regelmäfsigen Dienst im Voraus bestimmt war, so haben sie dazu während der Nacht Vorrath geschafft. Gesetzt also, es sollen in 24 Stunden ν Fahrten gemacht werden, so müssen die Luftpumpen im Stande sein, in

$$556.\quad T=24\cdot 60\cdot 60=86400 \text{ Secunden}$$

in ν Luftwagen die Spannung von $1+\mu_z$ auf $1+\mu_s$ zu bringen. Sie müssen

also nach (554.)

$$557. \quad m = \frac{\sigma \nu b(\mu_1^2 - \mu_2^2)}{2T\varphi},$$

oder nach (535.)

$$558. \quad m = \frac{\sigma \nu S(\mu_1 + \mu_2)}{2T\varphi}$$

Pferdekräfte haben.

D. Nun kann man über die *Zahl* der täglichen Fahrten dadurch verfügen, dafs man entweder *viel* Last auf einmal fortschafft und *weniger* Fahrten macht, oder *weniger* Last auf einmal, und dagegen *öfter* fahren läfst.

Aus dem Ausdruck von S (440.), nemlich

$$559. \quad S = \frac{S}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\left(\frac{Q}{\sigma}(n+\tang\beta)+\frac{\Delta^2\lambda}{D}\right),$$

für die Strecke L mit dem Abhange β, folgt, wenn überhaupt die Last νQ in 24 Stunden fortzuschaffen ist, also ν Fahrten zu machen sind,

$$560. \quad \nu S = \frac{L}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\left(\frac{\nu Q}{\sigma}(n+\tang\beta)+\frac{\nu\Delta^2\lambda}{D}\right).$$

Wenn hingegen dieselbe Last νQ durch ν_1 Fahrten, also $\frac{\nu}{\nu_1}Q$ auf einmal fortgeschafft werden soll und das dazu nöthige S durch S_1 bezeichnet wird, so ist

$$561. \quad \nu_1 S_1 = \frac{\nu_1 L}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\left(\frac{\nu}{\nu_1}\frac{Q}{\sigma}(n+\tang\beta)+\frac{\Delta^2\lambda}{D}\right)$$
$$= \frac{L}{1+\log\text{nat}(1+\mu_1)}\left(\frac{\nu Q}{\sigma}(n+\tang\beta)+\frac{\nu_1\Delta^2\lambda}{D}\right).$$

Hier ist zwar $\nu_1 S_1$ für *dasselbe* Δ und λ immer gröfser als νS (560.) für $\nu_1 > \nu$, allein da hier weniger Last auf einmal fortzuschaffen, also weniger Zugkraft nöthig ist, so kann man die Maafse Δ_1 und λ_1 der Kolben-Cylinder kleiner annehmen, so dafs $\frac{\nu_1\Delta_1^2\lambda_1}{D}$ in (561.) nicht gröfser als $\frac{\nu\Delta^2\lambda}{D}$ in (560.) und also, wenn man dann auch ein anderes μ_1 annimmt, zuletzt m in (558.) für ν_1 Fahrten nicht gröfser sein wird, als m für ν Fahrten.

E. So werden denn also hier *mehr* Fahrten mit *geringern* Lasten eben nicht mehr kosten, als *weniger* Fahrten mit *stärkern* Lasten. Dieses hat aber mehrfachen Nutzen.

Erstlich nemlich sind häufigere Fahrten für den Dienst einer Eisenbahn vortheilhaft; denn was hilft alles eilen, wenn die Personen oder Güter, welche fortgeschafft sein wollen, Stunden und halbe Tage lang warten müssen.

32 *

ehe der Wagenzug *abgeht*. Mit Pferden können sie in jedem beliebigen Augenblick die Fahrt antreten.

Zweitens erfordern leichtere Züge und leichtere Zugmaschinen nur schwächere Schienen, und überhaupt einen schwächern Unterbau, und die Eisenbahn läfst sich also *wohlfeiler bauen*.

Drittens hat eine geringere Luftspannung μ, auch eine geringere *Gefahr*, als eine stärkere.

Ich habe schon an einem andern Orte (im 17ten Bande dieses Journals, S. 172. §. 17.) den Vorzug kleinerer und häufigerer Züge vor gröfsern nachgewiesen. Er findet schon bei Dampfwagen-Eisenbahnen Statt: hier bei den Luftwagen ist er noch entschiedener. Zwar wird allerdings auf schon frequenten Bahnen für schnell auf einander folgende Züge ein einzelnes Schienenpaar schwer ausreichen, aber durch hinreichende und gehörig angebrachte Ausweichestellen und durch einen pünctlichen Dienst wird meistens noch das zweite Schienenpaar erspart werden können. Ist dasselbe aber auch nicht zu vermeiden, so werden wieder zwei *leichtere* Schienenpaare nicht eben viel mehr kosten als ein *schweres;* besonders hier bei den Luftwagen, wo man durchaus nicht zu sehr schwachen Gefällen gezwungen ist und also die mehrere *Breite* des Dammes nicht mehr die ungeheuren Mehrkosten verursacht, wie bei den Dampfwagen-Eisenbahnen. Wir werden dies an einem Beispiel weiter unten näher sehen.

F. Bei der *Gröfse b* der transportabeln Behälter, die entweder vorausbestimmt werden kann, oder die durch die voraus angenommene stärkste Luftspannung μ_1 nach (552.) bestimmt wird, kommt es auf Zweierlei an, nemlich: ob die zu dem Behälter bestimmten Cylinder sich noch gut aufladen lassen, und ob der Luftwagen durch diese Ladung entweder nicht schwer genug, oder nicht zu schwer wird.

Ist, wie in (§. 21.), der Durchmesser eines an den Enden halbkugelförmig verschlossenen Cylinders $=\delta$, seine Länge, mit Einschlufs der beiden Halbkugeln an den Enden, $=l$, so ist nach (50.) der *Inhalt* eines Cylinders, der durch b_1 bezeichnet werden mag,

$$562. \quad b_1 = \tfrac{1}{12}\pi\delta^2(3l-\delta)$$

und die Fläche desselben, die f_1 sein mag,

$$563. \quad f_1 = \pi\delta l.$$

Die Anzahl der nöthigen Luftcylinder ist also

$$564.\quad \frac{b}{b_1} = \frac{b}{1\tfrac{1}{2}\pi\delta^2(3l-\delta)}.$$

Die in den Cylindern eingeschlossene Luft von der Spannung $1+\mu_1$ bringt auf die Einheit der Länge den Druck $\sigma\mu_1\delta$ hervor, von welchem dem *Dreifachen* die Festigkeit oder Cohäsion der Wände des Cylinders Widerstand leisten mufs. Die Dicke der Wände des Cylinders sei $= d$, die Cohäsion des Eisens auf die Quadrat-Einheit $= e$, so ist der Widerstand der beiden Wände, auf die Einheit der Länge, $= 2de$. Derselbe mufs dem Druck $3\sigma\mu_1\delta$ gleich sein. Also mufs

$$565.\quad 2de = 3\sigma\mu_1\delta$$

sein, woraus für die nöthige Dicke der Cylinderwände

$$566.\quad d = \frac{3\sigma\mu_1\delta}{2e}$$

folgt. Die Masse des zu einem Cylinder nöthigen Eisens beträgt also, da seine *Fläche* $= \pi\delta l$ ist (563.),

$$567.\quad \pi d\delta l = \frac{3\pi\sigma\mu_1\delta^2 l}{2e},$$

und wenn die Cubik-Einheit des Eisens w Pfunde wiegt, so beträgt das *Gewicht eines* Cylinders

$$568.\quad \pi d\delta lw = \frac{3\pi\sigma\mu_1\delta^2 lw}{2e}.$$

und folglich das Gewicht G der nöthigen $\frac{b}{b_1}$ Cylinder nach (567.)

$$569.\quad G = \pi d\delta lw\frac{b}{b_1} = \frac{3\pi\sigma\mu_1\delta^2 lw}{2e}\cdot\frac{b}{1\tfrac{1}{2}\pi\delta^2(3l-\delta)} = \frac{18\sigma\mu_1 blw}{e(3l-\delta)}.$$

G. Zu diesem Gewicht kommt dann noch das Gewicht der Maschine selbst und dasjenige der Nebenbehälter hinzu, die nach (§. 14.) für die etwa während der Fahrt auf starken Abhängen einzupumpende Luft, so wie als Vermittler zwischen den Behältern selbst und den Kolbencylindern, nöthig sind, um darin der Luft, statt sie unmittelbar in die Kolbencylinder strömen zu lassen, erst diejenige Spannung zu geben, die gerade jeden Augenblick nöthig ist; desgleichen auch das Gewicht A der zusammengeprefsten Luft selbst. Diese letztere ist, das Gewicht eines Cubikfufses atmosphärischer Luft $= a$ gesetzt,

$$570.\quad A = b\cdot\mu_1 a.$$

H. Es ist hier zu bemerken, dafs es keineswegs nothwendig sein wird, die nöthigen Cylinder alle auf den Luftwagen selbst zu laden, sondern

dafs man nur gerade so viel davon auf ihn bringen darf, als nöthig ist, um ihn *schwer genug* zu machen, damit die Triebräder für die Zugkraft hinreichend auf die Schienen eingreifen. Die übrigen nöthigen Luftcylinder kann man recht gut auf einem, und selbst auf mehreren Wagen dem Luftwagen nachfahren lassen, gleich wie die Kohlen und das Wasser in einem Tender dem Dampfwagen. Die Luft aus den Cylindern auf den nachfahrenden Wagen kann durch *biegsame* Röhren dem Luftwagen zugeführt werden. Der Luftwagen darf, strenge genommen, nur das Gewicht der Maschine selbst haben, welche höchstens 100 Ctr., also nicht mehr als dasjenige eines gewöhnlichen beladenen Personen- oder Güterwagens sein wird; so dafs also hier, selbst dann noch, wenn man sehr schwere Züge fortschaffen will, die Schienen der Bahn *schwächer* sein können, als bei Dampfwagen-Eisenbahnen. Ein Dampfwagen mufs *immer* 200 bis 300 Ctr. und darüber schwer sein, selbst wenn bei weitem nicht so viel Gewicht nöthig ist, um das für die Zugkraft nöthige Eingreifen der Triebräder auf die Schienen hervorzubringen. Hier richtet sich das Gewicht des Luftwagens fast nur nach der nöthigen *Zugkraft.*

Wir gehen nun zu einem Beispiel über, und nehmen wieder dasjenige der Eisenbahn zwischen Berlin und Potsdam.

XX. Beispiel zu dem System No. V. §. 4., nebst der Schätzung der Anlage- und der Betriebs- und Erhaltungskosten.

67.

A. Wir nehmen zuerst an, es sollen $Q = 1800$ Ctr. auf einmal fortgeschafft werden (mit Einschlufs des Gewichts des Luftwagens), und die Kolben-Cylinder sollen $\Delta = 12$ Zoll im Durchmesser und $\lambda = 16$ Zoll lang sein. Die Luft soll in dieselben nur auf 4 Zoll Länge einströmen, so dafs in $k = \frac{\lambda}{1+\mu_1}$, $\mu_1 = 3$ ist. Die Triebräder sollen $D = 5$ F. im Durchmesser haben.

a. Alsdann ist der Luftbedarf zu einer Fahrt, nach (546.),

$$571. \quad S = 23992 \text{ C. F.};$$

desgleichen ist die am Ende der Fahrt noch nöthige Luftspannung nach (543.)

$$572. \quad \mu_2 = 3{,}191.$$

Dieses giebt nach (552.)

573.		Für $\mu_8 =$ 16	15	14	13	12	11	10	9	8 Atm.
	Die Gröfse der Behälter	$b =$ 1873	2032	2220	2446	2724	3072	3523	4130	4989 C. F.

b. Setzt man für die einzelnen Luft-Cylinder b_1 den Durchmesser $\delta = 2$ F., die Länge $l = 20$ F., so enthält ein Cylinder nach (562.)

574. $b_1 = \frac{1}{12} \cdot 3\frac{1}{7} \cdot 4(60-2) = 60{,}76$ C. F.

und es sind nach (573.) nöthig

575.

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8	Atm. Spannung.
$\frac{b}{b_1} =$	31	34	37	41	45	51	58	68	83	Cylinder.

c. Die den Wänden der Cylinder nöthige Dicke d ist, die Cohäsion e des Eisens auf 1 Q. Z. Fläche, wie in §. 21., gleich 70 000 Pfd. gesetzt, nach (566.)

576.

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8	Atm.
$d =$	1,358	1,273	1,188	1,103	1,018	0,933	0,849	0,764	0,679	Linien.

d. Das Gewicht G der nöthigen Cylinder beträgt nach (569.)

577

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8	Atm.
$G =$	179	182	186	190	196	202	211	222	239	Ctr.

e. Die Masse $b \cdot \mu_s$ der in den Behältern eingeschlossenen atmosphärischen Luft und ihr Gewicht A ist nach (573. und 570.), das Gewicht a eines Cub. Fufses atmosphärischer Luft $= \frac{1}{12}$ Pfund gesetzt,

578.

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8	Atm.
$b\mu_s =$	29968	30480	31080	31798	32688	33792	35230	37170	39912.	
$A =$	23	23	24	24	25	26	27	28	30	Ctr.

f. Rechnet man für das Gewicht der Räder und Achsen des Luftwagens, so wie der Maschine auf dem Wagen und des übrigen Zubehörs desselben, für die geringste Spannung der Luft von 8 Atm., 100 Ctr. und für jede fernere Atmosphäre 4 Ctr. mehr, so ergiebt sich für das gesammte Gewicht E der Zugwerkzeuge aus (577. und 578.)

579.

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8	Atm.
$E =$	334	334	334	334	337	340	346	354	369	Ctr.

g. Also in allen den verschiedenen Fällen ist die Zugmaschine nicht schwerer nöthig als ein starker Dampfwagen nebst Tender. Da aber zu der nöthigen Zugkraft hier auf dem steilsten Abhange bei weitem weniger Eingreifen der Triebräder nöthig ist, als von der gesammten Last, so kann man das Gewicht der Zugmaschine füglich auf zwei, und selbst auf drei Wagen vertheilen. Die nöthige Zugkraft

580. $Z = Q(n + \text{tang}\,\beta)$ (103.)

beträgt nemlich hier, für $Q = 1800$ Ctr. und $\text{tang}\,\beta = \frac{1}{300}$, nur

581. $Z = 1800(\frac{1}{250} + \frac{1}{300}) = 7{,}2 + 6 = 13{,}2$ Ctr.

Es sind also höchstens nur 100 Ctr. Druck auf die Triebräder nöthig, und daher können die Luftcylinder sehr wohl auf zwei oder drei Wagen *vertheilt* werden. Auf 3 Wagen können auch selbst die 83 Cylinder, die nach (575.) für blofs 8 Atm. Spannung nöthig sind, recht gut *geladen* werden, nemlich auf den Maschinenwagen etwa 13 und auf jeden der beiden andern 35, 5 in die Breite und 7 in die Höhe. Freilich werden dann die nöthigen Zugwerkzeuge, wegen der mehreren Räder, noch etwas schwerer. Sie werden indessen doch nicht leicht zusammen über 400 Ctr. wiegen, so dafs sich annehmen läfst, es werden in den verschiedenen Fällen noch etwa 1400 Ctr. *Nutzlast* fortgeschafft werden.

h. Die Anzahl der Pferdekräfte der an den Luftpumpen *ununterbrochen* arbeitenden Maschinen ist, nach (558. und 556.) berechnet, für $\nu = 12$ Fahrten in 24 Stunden, mit 10 pr. c. Zuschufs,

582.

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8 Atm.
$m =$	174	165	156	148	138	129	120	111	101.

i. Rechnet man für das Pfund Eisen zu den Cylindern nach §. 11. 8 Sgr., für die übrigen Theile des Luftwagens, nebst Beiwagen, 6000 Thlr. auf die schwächste Luftspannung, und für jede fernere Atmosphäre 200 Thlr. mehr; für die Pferdekraft der stärksten Dampfmaschinen an den Luftpumpen 240 Thlr., für die schwächern Maschinen je 5 Thlr. für eine Atmosphäre mehr; für die Luftpumpen selbst 100 Thlr. auf jede Pferdekraft, und nimmt an, dafs zu den 12 täglichen Fahrten 15 Luftwagen, jeder mit den nöthigen Cylindern gehalten werden (3 zur Reserve), so ist der Betrag der gesammten Anlagekosten nach (577. und 582.) folgender:

583.

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8 Atm.	
1. Kosten der Cylinder	78760	80080	81840	83600	86240	88880	92840	97680	105160	Thlr.
2. Übrige Kosten der Zugmaschinen	114000	111000	108000	105000	102000	99000	96000	93000	90000	-
3. Kosten der Dampfmaschinen	41760	40425	39000	37740	35880	34185	32400	30525	28280	-
4. Kosten der Luftpumpen	17400	16500	15600	14800	13800	12900	12000	11110	10400	-
Zusammen	251920	248005	244440	241140	237920	234965	233240	232315	233840	Thlr.

k. Für die Feurung der Dampfmaschinen kann man bei den stärksten Maschinen jährlich 180 Thlr., für die schwächsten 240 Thlr. auf die Pferdekraft rechnen. Dies giebt nach (582.)

584.

Für $\mu_s =$	16	15	14	13	12	11	10	9	8 Atm.
An Feuerungskosten	31320	30927	30420	29970	28980	28057	27000	25808	24248 Thlr.

Diese Feuerungskosten für die Spannung von 8 Atm. sind ungefähr dieselben, welche auch die *Dampfwagen* auf der Potsdamer Eisenbahn mit Cokes erfordern würden. Die Anlagekosten der Luftwagen mit Zubehör, von 233840 Thlr. (583.), sind freilich etwas höher als die für 15 Dampfwagen mit Tendern, welche nur etwa 210000 Thlr. betragen. Dafür aber werden auch die Luftwagen länger vorhalten und weniger Ausbesserungskosten erfordern.

l. Man rechnet 8 pr. c. jährlich der Anlagekosten von *stehenden* Dampfmaschinen zu ihrer Erhaltung und endlichen Erneuerung: für Dampfwagen wird man wenigstens 10 pr. c. ansetzen müssen. Für die Erhaltungskosten der Zugmaschinen und der Luftpumpen wollen wir 6 pr. c. annehmen. Die Luft-Cylinder werden *sehr* lange vorhalten und können vielleicht nicht 1 pr. c. der Anlagekosten zur Erhaltung erfordern.

Nach diesen Sätzen gerechnet, ergeben sich in (583.) folgende *Erhaltungskosten.*

585.

Für $\mu\mu$ =	16	15	14	13	12	11	10	9	8 Atm.
1. Für die Cylinder. . .	788	801	818	836	862	889	928	977	1052 Thlr.
2. Für die Zugmaschinen	6840	6660	6480	6300	6120	5940	5760	5580	5400 -
3. Für die Dampfmaschinen	3341	3234	3120	3019	2870	2735	2592	2442	2262 -
4. Für die Luftpumpen .	1044	990	936	888	828	774	720	667	606 -
Zus. an Erhaltungskosten	12013	11685	11354	11343	10680	10358	10000	9686	9320 Thlr.

Die Erhaltungskosten der 15 Dampfwagen würden, zu 10 pr. c. gerechnet, 21000 Thlr. jährlich und in *jedem* Fall *mehr* als die der Luftzugwerkzeuge betragen.

m. Da übrigens die Anlagekosten, so wie die Feurungskosten, für 8 Atmosphären Spannung *geringer* sind, als für höhere Spannungen, so wird die geringste Spannung die bessere sein, wenn gleich dann etwas weniger Nutzlast fortgeschafft wird; schon wegen der geringern Gefahr des Zerspringens der Luftbehälter. Diese Gefahr ist übrigens bei der Spannung von *nur 8 Atm.* erfahrungsmäfsig gewifs gar nicht mehr vorhanden, da man, wie weiter oben bemerkt, ohne Bedenken selbst *Dampfkessel* für 8 Atmosphären Spannung macht.

n. Es würden also für die Potsdamer Bahn zwei Dampfmaschinen für die Luftpumpen nach (582.), jede von 51 Pferdekräften nöthig sein, welche ununterbrochen Tag und Nacht arbeiten, eine bei Berlin, die andere bei Potsdam, und diese würden hinreichend sein, um 12 Fahrten täglich, jede mit etwa 1400 Ctr. Nutzlast zu machen, also etwa jede Fahrt mit 14 bis 16 Personen- oder Güterwagen.

o. Bei Potsdam befindet sich eine starke *Wasserkraft*, welche jetzt Mühlen treibt. Ich habe sie zwar nicht gemessen, aber es ist sehr wahr-

scheinlich, dafs sie mehr als 101 Pferdekräfte stark sein wird. Auch finden sich an dieser Bahn Gelegenheiten genug, auch die Kraft des ***Windes*** als Hülfsmittel zu benutzen. Es würde also hier schon ***wahrscheinlich*** ganz möglich sein, die nöthige Kraft auch ***ohne*** Dampfmaschinen und also ***ganz ohne Feuer*** zu gewinnen; und die ***Kosten*** der Kraft des Wassers, vielleicht noch mit Hülfe des Windes, würden gewifs geringer sein, als die 24 240 Thlr. Kosten der Feurung der Dampfmaschinen.

B. Wir wollen ferner sehen, wie es sich verhält, wenn nach (§. 66. *E.*) ***kleinere*** Wagenzüge gemacht werden; was aus den daselbst angegebenen Gründen an sich vortheilhaft ist. Wir nehmen statt 1800 Ctr. schwerer Wagenzüge nur 900 Ctr. schwere Züge an, durch welche auch etwa die Hälfte der ***Nutzlast*** transportirt werden wird. Da sich aber schon gezeigt hat, dafs eine geringere Luftspannung die bessere ist, so berechnen wir alles Nöthige sogleich ***nur für 8 Atmosphären*** Spannung. Den Kolben-Cylindern der Zugmaschinen geben wir hier die Gröfse $\Delta = \frac{3}{4}$ F., $\lambda = 1$ F., und D sei $= 5$ F. Und μ_1 soll, der kürzern Cylinder wegen, hier nur $= 2$ gesetzt werden, so dafs die Luft hier ebenfalls auf $\frac{12}{3} = 4$ Zoll Länge der Cylinder abgeschnitten wird. Dann ergiebt sich der Reihe nach für $\mu_1 = 8$ Folgendes:

1. Der Luftbedarf für *eine* Fahrt nach (538.) ist . $S = 12826$ C. F.
2. Die Luftspannung am Ende der Fahrt, nach (§. 64. *B.*), ... $\mu_2 = 2{,}973$.
3. Die Gröfse der Behälter, nach (552.), . . . $b = 2551$ C. F.
4. Die Zahl der Luft-Cylinder nach (577.) . . $\frac{b}{b_1} = 42$.
5. Die Dicke der Wände der Luft-Cylinder, nach (569.), ... $d = 0{,}679$ Lin.

586. 6. Das Gewicht der Luft-Cylinder, nach (572.), $G = 120$ Ctr.
7. Das Gewicht der Luft in den Cylindern, nach (576. und 573.), ... $A = 16$ Ctr.
8. Das gesammte Gewicht der Zugmaschine, nach (*A. f.*), ... $E = 236$ Ctr.
9. Die nöthige Zugkraft, nach (583.), ... $Z = 6{,}6$ Ctr.
10. Die Zahl der nöthigen Pferdekräfte, mit 10 pr. c. Zulage (555.), ... $m = 107$.

586.	11. Die Kosten der Cylinder für 24 Fahrten, mit ¼ zur Reserve Zulage, sind nach (*A. h.*)	105 600 Thlr.
	Die Kosten der Zugmaschinen desgleichen, hier zu 4500 Thlr. gerechnet, ...	135 000 -
	Die Kosten der Dampfmaschinen desgleichen . .	29 960 -
	Die Kosten der Luftpumpen desgleichen	10 700 -
	Zusammen an Anlagekosten	281 660 Thlr.
	12. An Erhaltungskosten, nach (*A. l.*), für die Cylinder .	1056 Thlr.
	für die Zugmaschinen . . .	8100 -
	für die Dampfmaschinen . .	2397 -
	für die Luftpumpen	642 -
	Zusammen	12 195 Thlr.

Die Anlage- und Erhaltungskosten sind zwar hier etwas höher, als für die halbe Zahl der Fahrten, aber dagegen gewinnt man die Vortheile (§. 66. *E.*).

C. Es ist hier auf die *sehr lange* Station von 3½ Meilen gerechnet. Zwischen Berlin und Potsdam ist es allerdings nicht *unumgänglich* nothwendig, anzuhalten, wiewohl es zuweilen häufig geschieht. Aber der Fall, dafs auf eine *so lange* Strecke kein Anhaltepunct *nothwendig* wäre, ist *selten,* und fast eine *Ausnahme.* Es wird ziemlich als *Regel* anzunehmen sein, dafs man schon auf die *halbe Länge* anzuhalten habe. Auch ist der zum Vorspannen anderer Zugmaschinen nöthige Aufenthalt so geringe, dafs der Wechsel, selbst da wo er nicht unbedingt nothwendig ist, noch keinen erheblichen Übelstand macht. Der Wechsel ist aber *hier* bei den Luftwagen *sehr* nützlich, weil dann die Zugmaschinen weniger Luftkraft bedürfen. Man könnte daher für die Eisenbahn zwischen Berlin und Potsdam auch auf *zwei* statt einer Station rechnen, und zwar mit der *vollen* Last. Zwar ist alsdann, damit kein Aufenthalt entstehe, die doppelte Zahl, wiewohl leichterer Zugmaschinen nöthig, weil eigentlich aus einer Station zwei geworden sind, und der Fall ist in Absicht des Bedarfs an Kraft und an Kosten so ziemlich derselbe wie der in (*B.*), allein man hat auch, wie dort, den Fall, dafs die Bahn schwächer gebaut und dafs mehr Nutzlast fortgeschafft werden kann.

XXI. Vergleichung der verschiedenen Eisenbahnsysteme in Rücksicht der Kosten der Anlage, der Erhaltung und der bewegenden Kraft, an einem Beispiele.

68.

Wir wollen jetzt für alle fünf Systeme die Eisenbahn zwischen Berlin und Potsdam zum Beispiel annehmen; denn dieses Beispiel wird besonders zur Beantwortung der Frage passend sein, ob die Luftröhrenbahnen auch in den *gewöhnlichen* Fällen, wo *keine* besondern Terrainschwierigkeiten vorkommen, vortheilhaft sein dürften, oder nicht.

Da für die Potsdamer Eisenbahn die Kosten des Systems No. V. in §. 67. schon vollständig berechnet und dort 1800 Ctr. *Bruttolast* für jede der 12 täglichen Fahrten vorausgesetzt sind, so nehmen wir jetzt *dieselbe Nutzlast* von $1800 - 369 = 1431$ Ctr., welche dort zufolge (579.) für den als den vortheilhaftesten erkannten Fall von 8 Atmosphären Spannung der Luft Statt findet, auch für die andern Systeme an.

Für die drei ersten Systeme ohne Luftwagen rechnen wir sogleich auf besondere *Luftbehälter,* weil deren Nutzen und Vortheilhaftigkeit weiter oben zur Genüge nachgewiesen ist.

Für die sämmtlichen vier ersten Systeme, mit Lufttriebröhren zwischen den Schienen, ist es, besonders wenn Behälter vorhanden sind, in Absicht der Kraft ungefähr gleich, ob man die Maschinen blofs auf die beiden Enden der Bahn vertheilt und der Lufttriebröhre die ganze Länge von $3\frac{1}{2}$ Meilen giebt, oder ob man drei oder vier einzelne Röhrenstücke macht und die Maschinen auf 4 oder 5 Stellen vertheilt; welches letztere nach den bisherigen Erfahrungen und Meinungen wahrscheinlich geschehen würde, obgleich die *Übergänge* von einem Röhrenstück in das andere nicht geringe Schwierigkeiten und Gefahren haben, auch die Vertheilung der Maschinen auf mehrere Puncte mehr Kosten macht.

a. Erstes System, mit verdünnter Luft in der Triebröhre, oder das eigentlich sogenannte atmosphärische System.

69.

A. Um 1431 Ctr. Last hier den stärksten vorkommenden Abhang von 1 auf 300 hinaufzutreiben, sind

587. $Z = Q(n + \text{tang}\,\beta)$ (103.) $= 1431(\frac{1}{250} + \frac{1}{300}) = 10{,}494$ Ctr. Zugkraft

nöthig. Setzt man 1½ pr. c. für die Reibung des Luftkolbens in der Röhre und für den Widerstand der Längsklappe hinzu, so ergiebt sich für die Kraft, welche der Luftkolben haben mufs und die durch K bezeichnet werden mag,

588. $K = 10{,}651$ Ctr.

B. Nun werde die Luft in der Triebröhre bis auf $\mu = \frac{1}{2}$ Atmosphäre Spannung verdünnt, wie man es gewöhnlich am vortheilhaftesten hält, so ist der Druck auf den Kolben $= \mu\sigma\frac{1}{4}\pi\delta^2$, also mufs

589. $K = \frac{1}{4}\sigma\pi\delta^2\mu$

sein, woraus

590. $\delta = \sqrt{\frac{4K}{\mu\pi\sigma}} = \sqrt{\left(\frac{8\cdot 10{,}651}{3\frac{1}{7}\cdot 18}\right)}$ (15.) $= 1{,}227$ F. $= 14{,}725$ Zoll

für den Durchmesser der Röhre folgt.

Der Raum p (§. 20.) der $L = 84000$ F. langen Röhre beträgt also

591. $p = L\cdot\frac{1}{4}\pi\delta^2 = 99\,409$ C. F.

C. Rechnet man für den Verlust durch die Längsklappe während der Fahrt noch 5 pr. c., so sind, in runder Zahl, für eine Fahrt 104 500 C. F. Luft auszuschöpfen.

Will man, wie in (§. 20.) angenommen, die Luft in den Behältern bis auf ⅙ Atm. ausschöpfen, und sollen die Behälter, zur Sicherheit, für *zwei* Fahrten ausreichen, so müssen sie nach (§. 20.)

592. $b = 6\cdot 104500 = 627000$ C. F.

Raum enthalten. Ein Behälter aus Mauerwerk von 80 000 C. F. Inhalt kostet, wie in (§. 20.) berechnet, 8000 Thlr., also wird man, verhältnifsmäfsig, hier für die Kosten der Behälter 62 700 Thlr. anzusetzen haben.

D. Sollen die 12 täglichen Fahrten auf der Eisenbahn nur am Tage und während 12 Stunden geschehen, so mufs, zufolge (§. 22. *E.*), der halbe Behälterraum in 1 Stunde ausgeschöpft werden können, also, wenn die Luftpumpen, wie in (§. 22.), 20 Schläge in der Minute machen sollen, durch $20\cdot 60 = 1200$ Kolbenschläge. Dieses giebt, nach der Formel (62.), wo K die Gröfse der Luftpumpenkolben bezeichnet,

593. $\log(\frac{1}{2}b - k) = \log 313500 + \frac{\log\frac{1}{6} - \log\frac{1}{2}}{1200} = \log 313213;$

also ist die nöthige Gröfse der Luftpumpenkolben

594. $K = 313500 - 313213 = 287$ C. F.

E. Dieses giebt ferner nach (52.) ein Kraftmoment der Luftpumpen von

595. $M_1 = 18\cdot 110(287\cdot 1200 - 313500(\frac{1}{6} - \frac{1}{2})) = 475002000,$

und dazu sind nach (68.), weil τ hier = 1 Stunde = 60·60 = 3600 Sec. ist,

$$596. \quad m_1 = \frac{M_1}{\varphi\tau} = \frac{475002000}{400 \cdot 3600} = 330 \text{ Pferdekräfte}$$

und mit 10 pr. c. Zulage

$$597. \quad m_1 = 363 \text{ Pferdekräfte}$$

der Dampfmaschinen für die Luftpumpen nöthig.

F. *a.* Rechnet man auf Maschinen von 30 bis 40 Pferdekräften und für die Pferdekraft 250 Thlr., so werden diese Maschinen 90 750 Thlr. kosten.

b. Die Luftpumpen selbst, wie in (§. 67. *A. h.*), zu 100 Thlr. für die Pferdekraft gerechnet, werden 36 300 Thlr. kosten.

c. Die Feuerungskosten für die Dampfmaschinen, da sie nicht Tag und Nacht, sondern nur 14 bis 15 Stunden täglich geheizt werden, zu 150 Thlr. für die Pferdekraft angeschlagen, werden jährlich 54 450 Thlr. betragen.

G. Die Lufttriebröhre mit Zubehör hat bei Dublin, wo sie 14½ Zoll im Durchmesser wie die gegenwärtige (593.) hat, etwa 160 000 Thlr. auf die Meile gekostet. Sie würde auch in Deutschland nicht viel weniger kosten, indem zwar der Arbeitslohn hier etwas wohlfeiler, dagegen aber das Eisen theurer als in England ist. Wir wollen indessen, da die weiter oben vorgeschlagene Luftklappe vielleicht etwas wohlfeiler sein wird als die Dubliner, nur 150 000 Thlr. ansetzen. Dies macht für 3½ Meilen 525 000 Thlr.

H. Für die Erhaltung der Dampfmaschinen rechnen wir, wie in (§. 67. *l.*), 8 pr. c., für die Erhaltung der Luftpumpen 6 pr. c., für die Erhaltung der gemauerten Behälter 1 pr. c. und für die Erhaltung der Lufttriebröhre und des Kolbens ebenfalls 1 pr. c. der Kosten.

I. *a.* Die Schienen auf der Potsdamer Bahn, für die schweren Dampfwagen, wiegen 3 Ctr. auf die laufende Ruthe und man kann die Kosten der Schienen, der Schienenstühle, Bolzen, Keile und Querhölzer, so wie das Legen der Bahn, auf etwa 33 Thlr. für die Ruthe anschlagen. Nimmt man nun an, dafs hier, wo keine schweren Zugmaschinen vorhanden sind, der Unterbau, welcher deshalb schwächer sein kann, den *dritten Theil* weniger kostet, so werden auf die 7000 R. Länge 77 000 Thlr. erspart. Die Brücken werden nicht gut schwächer sein können.

b. Als ein Vorzug des atmosphärischen Systems wird auch gerühmt, dafs man bei demselben *mehr dem Terrain folgen dürfe.* Dagegen wird

freilich weiter unten Mehreres einzuwenden sein. Auch würde hier bei der Potsdamer Bahn dadurch nicht eben viel mehr zu ersparen sein, da dieselbe schon ziemlich dem Terrain folgt. Man müfste an einigen Stellen viel stärkere Gefälle gestatten, um einige hohe Dämme und tiefe Einschnitte zu ersparen, in welchem Fall dann aber auch wieder mehr *Zugkraft* und mehr Maschinen nöthig sein würden. Wir wollen indessen eine Ersparung von 50 000 Thlr. an den Kosten der Damm-Arbeit und des Terrains ansetzen.

c. Ferner gehen die Kosten der nöthigen Dampfwagen ab, wofür 210 000 Thlr. anzusetzen sind.

d. Für die Erhaltung und Erneuerung der Dampfwagen rechnen wir jährlich 10 pr. c. und für die Erhaltung und Erneuerung des Unterbaues 6 pr. c. der Kosten.

K. Dieses giebt, zusammengestellt, Folgendes:

Anlagekosten der Luftbehälter, nach (*C.*), ...	62 700 Thlr.
— — der Dampfmaschinen an denselben, nach (*F. a.*),	90 750 —
— — der Luftpumpen, nach (*F. b.*), ...	36 300 —
— — der Lufttriebröhre, nach (*G.*), ...	525 000 —
Zusammen	714 750 Thlr.

Davon gehen ab:

An Ersparung am Unterbau, nach (*I. a.*),	77 000 Thlr.	
An Ersparung beim Damm und Terrain, nach (*I. b.*), ...	50 000 —	
Für die Dampfwagen, nach (*I. c.*), . .	210 000 —	
Zusammen		337 000 Thlr.

598. Also würde die atmosphärische Bahn gegen die Dampfwagenbahn *mehr* kosten . . . . 377 750 Thlr.

Die jährlichen Ausgaben bei der atmosphärischen Bahn sind:

An Feuerungskosten der Dampfmaschinen an den Luftpumpen, nach (*F. c.*), ...	54 450 Thlr.
Für die Erhaltung dieser Dampfmaschinen, 8 pr. c. der Kosten,	7 260 —
— — — — der Luftpumpen, 6 pr. c. der Kosten,	2 178 —
— — — — der Behälter, 1 pr. c. der Kosten,	627 —
— — — — der Lufttriebröhre, 1 pr. c. der Kosten,	5 250 —
Zusammen	69 765 Thlr.

69 765 Thlr.

Davon geht ab:

Für die Heizung der Dampfwagen mit Cokes, angenommen	24 000 Thlr.	
Für die Erhaltung der Dampfwagen, 10 pr. c. der Kosten, ...	21 000 -	
Für die wenigere Erhaltung des Unterbaues, 6 pr. c. der Kosten, ...	4 620 -	
Zusammen		49 620 -

599. Also würde die atmosphärische Eisenbahn jährlich *mehr* kosten 20 145 Thlr.

b. Zweites System, mit zusammengeprefster Luft in einer Triebröhre mit Schlitz und Klappe.

70.

A. Da die Lufttriebröhre wegen der Längsklappe und der Rollen, welche sie auf- und niederdrücken, nicht wohl einen geringeren Durchmesser als den bei dem vorigen System von 14,725 Zoll (593.) haben kann, so ist auch hier der Luft nur eine Spannung von $\mu = \frac{1}{2}$ zu geben, und die Lufttriebröhre hat dieselbe Gröfse wie die vorige (591.).

B. Wir nehmen wie in (§. 21.) Behälter von 6 F. im Durchmesser und 20 F. lang aus gewalztem Eisenblech an, welche, wie dort berechnet, jeder 509 C. F. Raum fassen und 400 Thlr. kosten werden.

Setzt man wieder, dafs die in diesen Behältern zusammengeprefste Luft für *zwei* Fahrten ausreichen soll, und nimmt nach (§. 23. *E.*) $\nu = 2$ als die vortheilhafteste Spannung der Luft in den Behältern an, so ergiebt sich aus (49. und §. 69. *C.*) für die hier nöthige Gröfse der Behälter:

600. $$b = \frac{1+\mu}{\nu-\mu}\varepsilon p = \frac{1+\frac{1}{2}}{2-\frac{1}{2}} \cdot 2 \cdot 104500 = 209000 \text{ C. F.}$$

und es sind also, da jeder Behälter 509 C. F. fafst, $\frac{209000}{509} = 411$ Behälter nöthig, die, zu 400 Thlr. jeder, 164 400 Thlr. kosten.

C. Nach (§. 23. *D.* und *E.*) ist hier in dem halben Behälterraum die Luft innerhalb einer Stunde oder $t = 3600$ Secunden von der Spannung $\mu = \frac{1}{2}$ bis auf die Spannung $\nu = 2$ zusammenzupressen und dazu sind nach (82.)

601. $$m_2 = \frac{\sigma(1+\mu)(\nu+\mu)\varepsilon p}{4t\varphi} = \frac{18 \cdot 110 \cdot 1\frac{1}{2} \cdot 2\frac{1}{2} \cdot 2 \cdot 104500}{4 \cdot 3600 \cdot 400} = 270$$

und mit 10 pr. c. Zulage

602. m_2 = 297 Pferdekräfte

nöthig.

D. Die Kosten der Triebröhre, so wie alles Übrige, ist dasselbe wie beim vorigen System. Rechnet man also nach den obigen Sätzen, so ergiebt sich Folgendes:

Anlagekosten der Luftbehälter, nach (*B.*), ...	164 400 Thlr.
Anlagekosten der Dampfmaschinen von 297 Pferdekräften, zu 250 Thlr., ...	74 250 -
Anlagekosten der Luftpumpen von 297 Pferdekräften, zu 100 Thlr., ...	29 700 -
Anlagekosten der Lufttriebröhre, nach (§. 69. *G.*), . . .	525 000 -
Zusammen	793 350 Thlr.
Davon ab, wie in (§. 69. *K.*), ...	337 000 -
603. Bleibt an mehreren Anlagekosten	456 350 Thlr.

Die jährlichen Ausgaben sind:

An Feuerungskosten der Dampfmaschinen von 297 Pferdekräften, zu 150 Thlr., ...	44 550 Thlr.
Für die Erhaltung der Dampfmaschinen, zu 8 pr. c. der Kosten,	5 940 -
- - - - - Luftpumpen, 6 pr. c. der Kosten, . .	1 782 -
- - - - - Behälter, 1 pr. c. der Kosten, . . .	1 644 -
- - - - - Lufttriebröhre, 1 pr. c. der Kosten, .	5 250 -
Zusammen	59 166 Thlr.
Davon ab, wie in (§. 69. *K.*), ...	49 620 -
604. Bleibt an mehrern jährlichen Ausgaben	9 546 Thlr.

c. Drittes System, mit zusammengepreſster Luft und einer Triebröhre ohne Schlitz und Klappe.

71.

Da nach (§. 27.) die Kraft der zusammengepreſsten Luft mit gleicher Spannung hier ganz dieselbe Wirkung hat, wie auf einen Triebkolben, so ist die nöthige Kraft, nebst den Behältern, ganz dieselbe, wie für das vorige, *zweite* Systeme. Die Triebröhre könnte hier zwar etwas kleiner sein, nemlich, statt des Querschnitts derjenigen in (§. 69.) von 1,183 Q. F., bloſs so wie in Fig. 7. 8. und 9. 1 Q. F. Querschnitt haben. Aber da dann mehr Trieb-

kraft nöthig wäre, so wäre diese Verkleinerung der Röhre nicht eben vortheilhaft. Es wird besser sein, sie 2 F. breit und 0,5915 F. = 7,1 Zoll hoch zu machen.

Die Kosten einer solchen Röhre auf die laufende Ruthe dürften etwa folgende sein.

Für 24 F. Längsschwellen über den Schienen, mit Arbeitslohn zu 4 Sgr., ...	3 Thlr. 6 Sgr.
Für 33 Q. F. gehobelten Boden von 2 Zoll dicken eichenen Bohlen, mit Holzschrauben, zu 10 Sgr., ...	11 - — -
Für die lederne Röhre, enthaltend 66 Q. F. starkes Leder, zu 15 Sgr., ...	33 - — -
Für 70 eiserne Schienen auf dem Boden von 32 Zoll lang, 2 Zoll breit, $\frac{3}{4}$ Zoll dick, nebst der Befestigung, zu 1 Thlr. 5 Sgr., ...	81 - 20 -
Thut für die laufende Ruthe	128 Thlr. 26 Sgr.
und für die 7000 R. lange Eisenbahn	902 067 Thlr.
also gegen die Triebröhre für die beiden vorigen Systeme, welche	525 000 -
605. kostete, mehr	377 067 Thlr.

Diese Summe würde also in (603. §. 70. *D.*), und für die Erhaltung der Triebröhre würden in (604.) noch 3771 Thlr. hinzukommen.

d. Viertes System, mit zusammengeprefster Luft in einer Röhre zwischen den Schienen und mit Luftwagen.

72.

A. In (64.) ist die nöthige Triebkraft der Maschinen auf der Potsdamer Bahn zur Fortschaffung von 1800 Ctr. Last berechnet. Da aber jetzt bei der Vergleichung der verschiedenen Systeme nur auf 1431 Ctr. ***Nutzlast*** gerechnet wird, der Luftwagen hier keine Behälter ladet und auf Das, was bei demselben nicht Nutzlast ist, vielleicht nur 60 bis 70 Ctr. zu rechnen sein dürfte, so mufs man jetzt nur 1500 statt 1800 Ctr. ansetzen. Dieses giebt zufolge (540.) für μ_m den sechsten Theil weniger, also nur $\mu_m = 2{,}3$, folglich in (548.) $S_m = 205\,868$ und statt (549.) $m = 649$ und mit 10 pr. c. Zulage, statt (550.),

606. $m = 714$ Pferdekräfte.

B. Die Luftwagen dienen hier zugleich als Transportwagen; auch werden ihrer weniger nöthig sein, als wenn die Maschinen die Luftkraft oder die Dampfkraft mit sich führen. Es wird vielleicht hinreichen, wenn man ihrer blofs 4 und einen zur Reserve rechnet und für jeden 5000 Thlr. ansetzt. Jedoch mufs man dann wenigstens 10 pr. c. Erhaltungskosten rechnen, weil die Wagen mehr gebraucht werden.

C. Behälter finden hier nicht Statt. Die Lufttriebröhre ist etwas schwieriger als für die Systeme No. I. und II. Da sie aber auch um ein geringes kleiner ist, so setzen wir, um auf keine Weise dem System zum Nachtheil zu rechnen, nur den obigen Preis dafür an.

D. Dies giebt, nach den obigen Sätzen gerechnet, für das System No. IV. folgende Resultate:

Anlagekosten der Dampfmaschinen von 714 Pferdekräften, hier, weil sie einzeln stärker sein können, zu 220 Thlr. gerechnet, ...	157 080 Thlr.
Kosten der Luftpumpen, 714 Pferdekräfte, zu 100 Thlr.,	71 400 -
Für die Luftwagen, nach (*B.*), ...	25 000 -
Für die Lufttriebröhre	525 000 -
Zusammen	778 480 Thlr.
Davon ab, wie in (§. 69. *K.*), ...	337 000 -
607. Bleibt an Anlagekosten gegen eine Dampfwagenbahn mehr	441 480 Thlr.

An jährlichen Ausgaben:

An Feuerungskosten der Dampfmaschinen von 714 Pferdekräften, zu 150 Thlr., ...	107 100 Thlr.
Für die Erhaltung dieser Maschinen, 3 pr. c. der Kosten,	12 566 -
- - - - der Luftpumpen, 6 pr. c. der Kosten, .	4 284 -
- - - - der Luftwagen, 10 pr. c. der Kosten, .	2 500 -
- - - - der Lufttriebröhre, 1 pr. c. der Kosten,	5 250 -
Zusammen	131 700 Thlr.
Hievon ab, wie (§. 69. *H.*), ...	49 620 -
608. Bleibt an jährlichen Kosten gegen eine Dampfwagenbahn mehr	82 080 Thlr.

e. Fünftes System, mit zusammengeprefster Luft in transportablen Behältern.

73.

Die hier nöthigen Berechnungen finden sich in (§. 64.).

A. Die Anlagekosten sind, für die Spannung von 8 Atmosphären in den Behältern, nach (583.), ... 233 840 Thlr.

Am Unterbau wird hier gegen eine Dampfwagenbahn ebenfalls erspart, weil die Luftbehälter nach Belieben auf mehrere Wagen vertheilt werden können; indessen wollen wir statt der obigen 77 000 Thlr. nur ansetzen 50 000 Thlr.

An den Kosten des Dammes und des Terrains werden hier *gewifs* die obigen . 50 000 - erspart, da hier stärkere Gefälle sogar vortheilhafter sind, als schwächere.

Hiezu die Kosten der Dampfwagen, nach (§. 69. *I. c.*), ... 210 000 -

Thut . . . . . . 310 000 -

609. Also würde das System No. V. gegen eine Dampfwagenbahn ***mindestens weniger*** kosten . . . . . . 76 160 Thlr.

B. Die jährlichen Kosten sind:

Für die Feuerung der Dampfmaschinen, nach (584.), . . . 24 240 Thlr.

An Erhaltungskosten der Cylinder, Zugmaschinen, Dampfmaschinen und Luftpumpen, nach (585.), ... 9 320 -

Thut 33 560 Thlr.

Davon gehen ab für wenigere Erhaltung des Unterbaues, zu 6 pr. c., ... 3 000 -

Bleiben 30 560 Thlr.

Die Heizungskosten der Dampfwagen betragen 24 000 Thlr.

Die Erhaltung derselben . . . . 21 000 -

Thut . . . . . . 45 000 -

610. Also würde das System V. gegen eine Dampfwagenbahn jährlich *weniger* kosten . . . . 14 440 Thlr.

f. **Zusammenstellung der Anlagekosten und der Benutzungs- und Erhaltungs-Kosten der fünf verschiedenen Systeme, gegen die einer Dampfwagenbahn verglichen.**

74.

A. Es ergiebt sich aus (§. 69. bis 73.) Folgendes.

		Gegen diejenigen einer Dampfwagenbahn betragen	
		die Anlagekosten.	die jährlichen Benutzungs- und Erhaltungskosten.
	1. System I., mit verdünnter Luft in einer Triebröhre mit Schlitz; das eigentlich sogenannte atmosphärische System (§. 69.)	+377750 Thlr.	+20145 Thlr.
611.	2. System II., mit zusammengepreſster Luft in einer Triebröhre *mit* Schlitz (§. 70.)	+456350 -	+ 9547 -
	3. System III., mit zusammengepreſster Luft in einer Triebröhre *ohne* Schlitz (§. 71.)	+833417 -	+13317 -
	4. System IV., mit zusammengepreſster Luft in einer Triebröhre und Luftwagen (§. 72.)	+441480 -	+82080 -
	5. System V., mit zusammengepreſster Luft in Behältern auf dem Luftwagen, also *ohne* Triebröhre, ...	— 76160 -	—14440 -

Hieraus würde sich nun ergeben, daſs das System No. V. von allen fünfen bei weitem das *wohlfeilste* ist. Alle vier andern Systeme kosten mehr, und zum Theil *sehr viel mehr* als das Dampfwagensystem, No. V. allein kostet *weniger*.

Ich verkenne es gewiſs nicht, daſs die obigen *Kostenberechnungen* nur wenig sicher sind und daſs die Resultate durch viele örtliche und andere Umstände noch bedeutend modificirt werden können. Da indessen die Abweichungen der berechneten Kosten der vier ersten Systeme von denen der Dampfwagenbahn so *bedeutend* sind und auſserdem überall eher zu Gunsten als zum Nachtheil der Systeme gerechnet worden ist, auch noch Manches, was nicht berücksichtigt wurde, zum Ansatz kommen dürfte, z. B. die Kosten der Maschinengebäude, die Erhaltung derselben, die jährlichen Kosten der Bedienung der Maschinen etc., so glaube ich, geht wenigstens so viel aus den Resultaten hervor, daſs keines der vier ersten Systeme mit Triebröhren *wohlfeiler* sein werde.

als das Dampfwagensystem. Das fünfte System dürfte dagegen wenigstens *nicht theurer* zu stehen kommen.

B. Das Einzige, was noch Zweifel gegen die *Wohlfeilheit* des fünften Systems erregen könnte, wäre der Umstand, dafs Luftwagen von der *zweiten* Art, mit Absperrung, auf welche wir hier oben gerechnet haben, noch etwas so Neues sind, dafs ihre Ausführbarkeit, oder doch ihre grofse Vortheilhaftigkeit, in der Praxis noch bezweifelt werden möchte, und dafs man also einstweilen nur auf Luftwagen von der *ersten* Art, *ohne Absperrung*, rechnen wolle, gegen deren Möglichkeit und Anwendbarkeit dann freilich weiter kein Bedenken Statt finden würde.

Um zu sehen, was sich in solchem Falle ergebe, wollen wir auch noch in Kürze für das Beispiel der Potsdamer Eisenbahn auf Luftwagen *erster* Art rechnen.

a. Da es zunächst darauf ankommt, dafs man so wenig als möglich zusammengeprefste Luft *fortzuschaffen* habe, also dafs der Luftbedarf S so klein als möglich sei, nehmen wir hier für die Zugmaschinen *kleine* Kolbencylinder von $\varDelta = \frac{3}{4}$ F. Durchmesser und $\lambda = 1$ F. Länge an. Und da es ferner darauf ankommt, dafs zum Zusammenpressen der Luft so wenig Pferdekräfte als möglich nöthig sein mögen, so bleiben wir bei der Spannung von 8 Atm. stehen, die auch sonst wegen der etwaigen Gefahr des Zerspringens der Luft-Cylinder besser ist als eine *stärkere* Spannung. Da aber jedenfalls *mehr* Luft-Cylinder nöthig sind, als für Luftwagen von der zweiten Art, und also die Zugmaschinen *schwerer* werden, so mufs man, damit noch *dieselbe* Nutzlast von 1431 Ctr., die in (§. 69. *A.*) für die fünf Systeme angenommen ist, fortgeschafft werde, wie es die Rechnung angiebt, für die *Gesammtlast* Q statt 1800 Ctr. etwa 2000 Ctr. ansetzen.

b. Hiernach gerechnet, ergiebt sich zuerst für den Luftbedarf S, statt der 43952 C. F. in (222.), hier, für $P = 2000$ Ctr.,

612. $S = 48000$ C. F.

c. Die Spannung μ_z der Luft, welche am Ende der Fahrt für horizontale Strecken in den Behältern zurückbleiben mufs, wäre hier nach (541.)

613. $$\mu_z = \frac{QD_n}{\varDelta^2 \lambda \sigma} = \frac{2000 \cdot 110 \cdot 5 \cdot 16}{250 \cdot 9 \cdot 1 \cdot 18 \cdot 110} = 3{,}95 \text{ Atm.}$$

Allein es ist zu berücksichtigen, dafs die zum Beispiel genommene Bahn auf etwa ihre halbe Länge *so stark fällt*, dafs auf den fallenden Stellen nur die

Spannung $\frac{1}{2}\mu_z$ nöthig ist, und dafs also die *Hälfte* der Behälter bis auf $\frac{1}{2}\mu_z$ ausgeschöpft werden kann, mithin für den ganzen Behälterraum nur $\frac{3}{4}$ von 3,950 Atm. und folglich für μ_z nur

$$614. \quad \mu_z = 2{,}96 \text{ Atm.}$$

anzusetzen ist. Dieser Umstand kommt auch eigentlich noch dem Falle für Luftwagen *zweiter* Art zu gut und stellt die Resultate (611.) für dieselben noch *bedeutend günstiger*.

d. Es findet sich weiter, für $\mu_z = 2{,}96$ und $\mu_s = 8$, aus (552.) für den nöthigen Behälterraum

$$615. \quad b = \frac{S}{\mu_s - \mu_z} = \frac{48000}{8 - 2{,}96} = 9524 \text{ C. F.},$$

und da ein Luftcylinder $b_1 = 60{,}76$ C. F. enthält (574.), für die Zahl der Cylinder

$$616. \quad \frac{b}{b_1} = \frac{9524}{60{,}76} = 157.$$

e. Diese Cylinder wiegen, nach (569.), ... 452 Ctr.
Die Luft in denselben wiegt, nach (570.), ... 57 -
Dazu für das Gewicht der Maschine, nach (§. 67. *A. f.*), . 100 -
Thut für das Gewicht der Zugwerkzeuge 609 Ctr.,

so dafs, von dem $Q = 2000$ Ctr. abgezogen, noch ungefähr die Nutzlast von 1431 Ctr. übrig bleibt.

f. Die Zahl der nöthigen Pferdekräfte der Dampfmaschinen an den Luftpumpen ist hier nach (558.), mit 10 pr. c. Zuschufs,

$$617. \quad m = \frac{18 \cdot 110 \cdot 12 \cdot 48000\,(8 + 2{,}96)}{2 \cdot 86400 \cdot 400} \cdot \tfrac{11}{10} = 199.$$

g. Die Kosten der Luftcylinder auf 15 Luftwagen sind nach (§. 67. *A. h.*) . . . . 198 880 Thlr.
Die Kosten der Zugmaschinen, nach (583. 2.), ... 90 000 -
Die Kosten der Dampfmaschinen von 199 Pferdekräften, nach (§. 67. *A. h.*), ... 55 720 -
Die Kosten der Luftpumpen desgleichen . . . . 19 900 -
Thut zusammen an Anlagekosten 364 500 Thlr.
Für die Dampfwagenbahn ist nach (§. 73. *A.*) zu rechnen 310 000 -
618. Also kostet hier die Luftwagenbahn *mehr* 54 500 Thlr.

h Die *jährlichen* Ausgaben sind folgende:

Feuerungskosten der Dampfmaschinen, die hier *stark* sein können, also für 199 Pferdekräfte, nach (§. 67. *A. k.*), zu 180 Thlr., ...	35 820 Thlr.
Erhaltungskosten der Luft-Cylinder, zu 1 pr. c. der Kosten, nach (§. 67. *A. h.*), ...	1 989 -
Desgleichen der Zugmaschinen, zu 6 pr. c., ...	5 400 -
Desgleichen der Dampfmaschinen, zu 8 pr. c., ...	4 458 -
Desgleichen der Luftpumpen, zu 6 pr. c., ...	1 194 -
Thut	48 861 Thlr.
Für die Dampfwagenbahn ist nach (§. 73. *B.*) zu rechnen	45 000 -
619. Also kostet die Luftwagenbahn *mehr*	3 861 Thlr.

C. Für Luftwagen *erster Art* würde also allerdings die Luftwagenbahn *mehr* zu bauen, zu benutzen und zu erhalten kosten, als eine Dampfwagenbahn, aber verhältnifsmäfsig doch nur *wenig mehr*, und *bei weitem* nicht *so viel mehr*, als nach (611. 1.) eine *atmosphärische* Bahn. Und da nun bei den Luftwagen *erster* Art die Verschwendung, Luft aus den Cylindern ins Freie entweichen zu lassen, die hier noch eine Spannung von 3, 4, 5 Atm. hat, gar zu bedeutend und augenfällig ist, so wird man sich schwerlich jemals Luftwagen dieser Art bedienen, und die Berechnung für dieselben (in *B.*) kommt nicht weiter in Betracht, als dafs sie zeigt, selbst noch bei so unvortheilhaften Zugmaschinen seien die Anlage- und Benutzungskosten erst *nur wenig* höher, als bei Dampfwagenbahnen. Man wird jedenfalls wenigstens *einige Absperrung* und Benutzung der Ausdehnung der zusammengeprefsten Luft in den Cylindern gestatten, und von dieser ist schon von den Dampfmaschinen her bekannt, dafs sie eine Ersparung von 30, 40 bis 50 pr. c. gewährt.

Die obigen Resultate für Luftwagen zweiter Art sind also eigentlich die *richtigen;* und jedenfalls zeigt sich wenigstens *so viel*, dafs Luftwagenbahnen *in den gewöhnlichen Fällen*, nemlich auf wenig unebenem Terrain, *nicht theurer* zu bauen und zu benutzen sind, als *Dampfwagenbahnen*, und, wie aus (611.) erhellet, dafs sie *bei weitem* wohlfeiler sind, als *alle vier* Systeme von Eisenbahnen mit *Triebröhren* zwischen den Schienen. Auf *schwierigem* Terrain aber findet das Gleiche in noch viel stärkerem Maafse Statt, weil stärkere Gefälle, wie oben bewiesen, den Luftwagen sogar *vortheilhaft* sind, während sie die Kosten und Schwierigkeiten für alle anderen Systeme *erhöhen.*

XXII. Vergleichung der fünf verschiedenen Systeme in Rucksicht ihrer andern Eigenschaften.

a. In Rücksicht ihrer Eigenung zum Ersteigen langer und steiler Abhänge.

75.

A. Unstreitig würden Lufttriebröhren sehr wohl geeignet sein, grofse Lasten steile Abhänge hinaufzutreiben, aus dem Grunde, weil hier die Spannung der Luft *unmittelbar* auf den Kolben wirkt, welcher die Wagen forttreibt, während sie in den Zugmaschinen erst die zwei Kolben in den Maschinen-Cylindern in Bewegung setzt, die zusammen aber nicht viel gröfser gemacht werden können als der Kolben in einer Lufttriebröhre, und dann diese Kraft eine viel geringere Kraft an dem Umfange der Triebräder hervorbringt, da die letztere zu der Triebkraft der Cylinderkolben nur in dem Verhältnifs der doppelten Länge der Cylinder zu dem viel gröfsern Umfange der Triebräder steht.

B. Auch pflegt man diese Eigenschaft als einen Vorzug der sogenannten *atmosphärischen* Eisenbahnen zu betrachten. Allein gerade *bei diesem System No. I.* ist sie *sehr beschränkt.*

Nach (587. und 589.) mufs nemlich mindestens

$$620. \quad Q(n+\tan\beta) = \tfrac{1}{4}\sigma\pi\delta^2\mu$$

sein. Daraus folgt

$$621. \quad Q = \frac{\sigma\pi\delta^2\mu}{4(n+\tan\beta)} \text{ und}$$

$$622. \quad \tan\beta = \frac{\sigma\pi\delta^2\mu}{4Q} - n.$$

Nun ist es kaum möglich, wenigstens jedenfalls höchst unvortheilhaft, die Luft in der Triebröhre auf mehr als $\mu = \frac{1}{2}$ Atm. auszupumpen. Ihr eine *ganze* Atm. Spannung zu geben, ist völlig *unmöglich.* Und setzt man auch nur $\mu > \frac{1}{2}$, so sind schon kaum *Behälter* mehr anwendbar, und man ist dann in der Nothwendigkeit ungeheuer starker Maschinen an den Luftpumpen, wie bei Dublin, um die Luft *schnell genug* ausschöpfen zu können; auch wird der Zudrang der Luft durch die nicht ganz dichte Längsklappe immer nachtheiliger. In der That scheint man auch schon so ziemlich anzunehmen, dafs für *dieses* System $\mu = \frac{1}{2}$ die passendste Spannung sei.

Andrerseits darf der Durchmesser der Triebröhre δ schwerlich über 2 F. betragen; denn gröfsere Röhren werden gar zu kostbar; auch mangelt es zuletzt an *Raum* für sie.

Setzt man also $\mu = \frac{1}{2}$ und das *gröfste* zuläfsliche $\delta = 2$, so giebt (621. und 622.)

$$623. \quad Q = \frac{\sigma\pi}{2(n + \tang\beta)} \text{ und}$$

$$624. \quad \tang\beta = \frac{\sigma\pi}{2Q} - n.$$

Gesetzt nun, es sei auch nur ein Abhang $\tang\beta$ von 1 auf 40 zu ersteigen, so ergiebt sich aus (623.), dafs selbst mit einer Röhre von 2 F. im Durchmesser nicht mehr als 975 Ctr. hinaufzubringen sind. Und verlangt man, dafs 1500 Ctr. hinaufgeschafft werden, so darf der Abhang nach (624.) nicht stärker als $\tang\beta = 1$ auf 68 sein.

Diese Beschränkungen sind aber so grofs, dafs das System zum Ersteigen starker Abhänge eigentlich *wenig* passend ist.

C. Die beiden nächsten Systeme No. II. und III., besonders No. II., mit *zusammengeprefster* Luft in einer *eisernen* Triebröhre, sind allerdings hier ganz geeignet, da man die Luft in der Röhre recht gut auch stärker verdichten kann.

Aus (620.) folgt

$$625. \quad \mu = \frac{4Q(n + \tang\beta)}{\sigma\pi\delta^2}.$$

Verlangt man also, dafs z. B. 1500 Ctr. selbst einen Abhang von 1 auf 20 hinaufgetrieben werden sollen, und giebt der Triebröhre nur den gewöhnlichen Durchmesser von 15 Zoll, so sind nach (625.) erst $\mu = 3,74$ Atm. überschüssige Spannung der Luft in der Röhre nöthig; welche weiter kein Bedenken hat, als dafs dann die Röhre sehr stark sein mufs und viel kosten wird.

D. Die Systeme No. IV. und V. gehören in Rücksicht der nöthigen Kraft in eine und dieselbe Classe, weil sie beide *Luftwagen* haben, von welchen die Reibung der Triebräder auf den Schienen die Last fortschaffen mufs.

Für Luftwagen ist zufolge (156.)

$$626. \quad Q(n + \tang\beta) = \frac{\lambda\Delta^2\mu\sigma}{D},$$

und daraus folgt

$$627. \quad \mu = \frac{DQ(n + \tang\beta)}{\lambda\Delta^2\sigma}.$$

Also, um $Q = 1500$ Ctr. Last fortzuschaffen, ist, wenn man den Triebrädern wie gewöhnlich $D = 5$ F. Durchmesser und den Maschinen-Cylindern, von $\Delta = 12$ Zoll Durchmesser, $\lambda = 16$ Zoll Länge giebt, für einen Abhang

tang β von 1 auf 20, $\mu = 16{,}87$, und für einen Abhang tang β von 1 auf 40, $\mu = 9{,}06$ Atm. Spannung nöthig. Da indessen den Maschinen-Cylindern auch recht gut noch $\Delta = 15$ Zoll Durchmesser und $\lambda = 20$ Zoll Länge gegeben werden kann, so kommt man auch für einen Abhang von 1 auf 20 mit $\mu = 8{,}64$ und für 1 auf 40 Abhang mit $\mu = 4{,}64$ Atm. Spannung aus; und diese letztern Spannungen haben kein Bedenken, da sich die Luft in den Behältern bis zu 16 Atm. Spannung verdichten läfst.

E. Dafs das *System No. IV.* hier *nicht* passend sein würde, ist ohne Weiteres klar, indem, wenn man die Luft in der Triebröhre bis zu 4,64 oder 8,64 Atm. Spannung zusammenpressen wollte, bei jeder Fahrt ein *ungeheurer* Verlust an Luft und Kraft Statt finden würde.

F. Nur das *System No. V.* ist passend. Indessen fragt es sich hier, ob eine hinreichende *Reibung der Triebräder* auf den Schienen hervorzubringen sei, ohne die Luftwagen allzu schwer machen zu müssen.

In dem schwierigsten obigen Falle, wo eine Last $Q = 1500$ Ctr. einen Abhang von 1 auf 20 hinaufgeschafft werden soll, ist

628. $Z = Q(n + \tan\beta) = 81$ Ctr.

Zugkraft und folglich eben so viel Reibung auf den Schienen nöthig. Bedient man sich des Mittels (§. 58.), so wird dazu immer noch ein 300 bis 330 Ctr. schwerer Luftwagen mit gekuppelten Rädern hinreichen.

G. Zum *Hemmen* dienen, bei allen fünf Systemen *gleichmäfsig*, mit Sicherheit nur die gewöhnlichen *mechanischen Mittel;* denn vermittels der *Luft* in der Triebröhre, oder vermittels des Luftwagens, läfst sich, wie weiter oben auseinandergesetzt, die Bewegung nur mäfsigen, oder *allmälig* aufheben; nicht *schnell* hemmen.

H. Hieraus folgt, zusammengenommen, dafs zwar die Systeme No. II. und III., und besonders No. II., ganz geeignet sind, grofse Lasten steile Abhänge hinaufzutreiben; dafs aber auch das System No. V. nicht minder dazu pafst und also auch in diesem Punct keinem der andern Systeme nachsteht.

b. Vergleichung für die Fälle, wo die Bahn *abwechselnd* ziemlich stark steigt und fällt.

76.

A. Im Allgemeinen ist die Triebkraft, welche der Druck der Luft auf den Kolben der Triebröhre beim System No. I. und II., oder auch auf das Triebrad beim System No. III. hervorbringt, unveränderlich *gleich stark:*

der Widerstand des fortzutreibenden Wagenzuges dagegen ist *veränderlich*, und zwar *sehr stark veränderlich*. Auf Strecken, wo die Bahn 1 auf 250 *steigt*, ist der Widerstand *doppelt* so grofs, als wo sie *horizontal* liegt; auf Strecken, wo die Bahn 1 auf 250 *fällt*, ist der Widerstand *Null*. Wenn die Bahn noch stärker steigt, ist noch mehr Zugkraft nöthig, und wo sie stärker fällt, mufs sogar gehemmt werden Die *nothwendige* Zugkraft wächst daher vom Negativen durch Null ins Positive bis zum Vielfachen Dessen, was auf horizontaler Bahn nothwendig ist, während die bewegende Kraft, die auf den Kolben wirkt und den Wagenzug forttreibt, im Allgemeinen *constant* ist, und zwar *so stark* sein mufs, dafs damit der *stärkste* der vorkommenden Abhänge erstiegen werden kann. Die Triebkraft mufs also bei den Systemen mit Triebröhren, und zwar nach der Eigenthümlichkeit dieser Systeme, ganz nothwendig *bei weitem stärker sein, als eigentlich nothwendig ist*. Und da nun eine Triebkraft, welche hinreicht, den Wagenzug den stärksten Abhang hinaufzutreiben, für horizontale oder fallende Stellen ein so grofses Übergewicht über den Widerstand hat, dafs sie sehr bald eine ungeheure und gefährliche *Geschwindigkeit* hervorbringen würde, so mufs dieser Überflufs an Triebkraft durch *Hemmen vernichtet* werden, und es findet also immer ein reiner *Verlust* an Kraft Statt. Auf der atmosphärischen Eisenbahn bei Dublin, der einzigen bis jetzt benutzten, kann dieser Übelstand nur wenig oder gar nicht fühlbar sein, weil hier die Wagenzüge immer *nur* bergan fahren, und zwar so ziemlich einen gleich starken Abhang hinauf. Die Triebkraft kann hier immer nur wenig den Widerstand übersteigen; und übersteigt sie ihn selbst bedeutend, so ist davon beim *Berganfahren* keine übermäfsige Geschwindigkeit und folglich keine *Gefahr* zu befürchten. Schon dieses einen Punctes wegen dient die Dubliner Eisenbahn noch durchaus nicht zu einem Beweise der allgemeinen Anwendbarkeit und Vortheilhaftigkeit des atmosphärischen Systems. Überall, wo eine Bahn *abwechselnd steigt und fällt*, anders wie bei Dublin, und was denn auch wohl in den meisten Fällen so sein wird, wird der vorhin bemerkte Übelstand in vollem Maafse Statt finden und wesentliche und dringende Gefahr, die nur durch Hemmen abzuwenden ist, so wie *Verlust* an theuer gewonnener Kraft *unvermeidlich* sein. Das letztere ist denn auch, nächst dem Verlust an Kraft durch die nie ganz dichte Längsklappe, der *Hauptgrund*, weshalb die Triebkraft auf abwechselnd steigenden und fallenden Bahnen *nothwendig theurer sein mufs*, als bei den Systemen, die den Übelstand nicht haben.

B. Allerdings wird sich die aus diesem Übelstande entstehende Gefahr, so wie der Verlust an Kraft, *vermindern* lassen, wenn die schon weiter oben gedachten Mittel dagegen practisch möglich befunden werden.

Geht es nemlich an, dem Führer des Wagenzuges ein Mittel zu gewähren, etwa durch einen electrischen Telegraphen, dem Maschinisten an der Luftpumpe oder an den Behältern anzuzeigen, ob die Triebkraft zu stark oder zu schwach sei, so kann dieser allerdings die Kraft, besonders wenn Behälter vorhanden sind, durch bloſse Handhabung des Hahns in der Zulassungsröhre schwächen, oder verstärken, und es wird also dann der Verlust an Kraft und die Gefahr vermindert. Aber wenn auch die Anweisung des Zugführers selbst *augenblicklich* dem Maschinisten zugebracht werden kann, und dieser auch so aufmerksam ist, daſs er sie eben so schnell befolgt, so *wirkt* doch, wie schon weiter oben bemerkt, Das, was er zu thun *im Stande* ist, immer nicht eben so augenblicklich, sondern erst, wenn der Wagenzug vielleicht längst über die Stelle hinweg ist, wo die Verstärkung oder Schwächung der Kraft nothwendig war. Und daſs der Wagenzugführer im Stande sein sollte, seine Anweisung so abgemessen *vorher* zu geben, daſs Das, was der Maschinist an den Behältern zu thun vermag, gerade zur *rechten Zeit* wirkt, dürfte practisch kaum möglich sein.

Bedient man sich des in (§. 61.) beschriebenen Mittels, die Triebkraft nach Erfordern zu verstärken oder zu schwächen, so erspart man den Telegraphen, und die Veränderung der Triebkraft ist etwas schneller und sicherer möglich, also die Gefahr sicherer abwendbar; aber der *Verlust an Kraft* bleibt dann noch um so mehr.

Die nothwendigen Folgen dieses den Systemen I. II. und III. auf abwechselnd steigenden und fallenden Bahnen, ihrem Wesen nach *eigenthümlichen* Mangels ganz oder auch zum gröſsern Theile abzuwenden, dürfte daher wohl schwerlich jemals möglich sein.

C. Diesen Übelstand haben nun die Systeme No. IV. und V. mit Luftwagen *gar nicht;* selbst bei *Dampfwagen* findet er weniger Statt. Bei diesen letztern vermindert sich die Triebkraft, sobald der Widerstand abnimmt, *von selbst;* denn da im allgemeinen in gleichen Zeiten immer *dieselbe* Masse Dampf im Kessel erzeugt wird und den Kolben-Cylindern zuströmt, so dehnt sich der Dampf in den Cylindern, sobald der Widerstand ab- und die Geschwindigkeit der Fahrt zunimmt, also die Kolben dem Dampf schneller ausweichen, in den Cylindern aus, drückt mithin auf die Kolben mit geringerer

Kraft und bringt eine geringere Triebkraft hervor. Auch kann der Wagenführer die Wirkung noch verstärken, wenn er die Zuströmung des Dampfs aus dem Kessel in die Kolbencylinder beschränkt, oder ganz abschneidet; oder auch wenn er die Sicherheitsklappe auf dem Kessel zu Hülfe nimmt, oder das Feuer mäfsigt. Bei *Luftwagen* hat der Wagenführer die Triebkraft vollständig in seiner Gewalt und kann sie *augenblicklich* je nach Erfordern mäfsigen, oder verstärken; ja er kann sogar, wenn die *Schwere* einen Überschufs an Triebkraft hervorbringt, diesen Überschufs benutzen und in den Luftbehältern aufsammeln; was bei Dampfwagen nicht angeht. Bei Luftwagen findet also *gar kein* vermeidbarer Verlust an Kraft Statt, und selbst dem Hemmen kommt der Luftwagen zu Hülfe.

D. Auf allen Bahnen, die abwechselnd steigen und fallen, haben also in Rücksicht der Benutzung *aller* vorhandenen Kraft und der Abwendung der Gefahr zu grofser Geschwindigkeiten die Systeme No. IV. und V., mit Luftwagen, und besonders dasjenige No. V., wo die Stärke der Spannung der Luft in den Behältern weit gröfser sein kann, als in No. VI., vor den drei Systemen No. I. II. und III. einen sehr grofsen und entscheidenden Vorzug, und der Übelstand bei No. I. II. und III. in dieser Beziehung ist so bedeutend, so fundamental und so unabwendbar, dafs es wohl diesen ganz unmöglich sein dürfte, überall, wo nicht, wie bei Dublin, die Wagenzüge *nur* ausschliefslich bergan zu treiben sind, gegen die andern aufzukommen.

c. Vergleichung der fünf Systeme in Absicht der Schnelligkeit der Fahrt.

77.

A. Es ist an den Röhren-Eisenbahnen mit Triebkolben, namentlich an dem sogenannten atmosphärischen System No. I., als dem einzigen von den dreien No. I. II. III., die bis jetzt zur Ausführung kamen, gerühmt worden, dafs dasselbe, wie es bei Dublin die Erfahrung zeigt, geeignet sei, eine *sehr grofse* Geschwindigkeit der Fahrt zu ermöglichen. Dieses ist, wie es auch der Augenschein gezeigt hat, vollkommen richtig: aber wollte man etwa behaupten, die Kraft zu einer sehr schnellen Fahrt sei den atmosphärischen Eisenbahnen *ausschliefslich*, oder auch nur *vorzugsweise* eigen, so würde dieses ein gänzlicher Irrthum sein. Die Kraft, sehr schnell zu fahren, ist *überall* vorhanden, wo ein hinlänglicher *Überschufs* der Triebkraft über die nöthige Zugkraft Statt findet. Einen solchen Überschufs kann aber *jedes* System, auch das mit Dampfwagen, hervorbringen, und folglich kann man in *allen* Systemen

so schnell fahren, als man will, und das Vermögen des Schnellfahrens ist durchaus nicht dem System No. I. ausschliefslich, oder auch nur vorzugsweise eigen.

Die Frage wegen der *Geschwindigkeit der Fahrt* ist in allgemeiner Beziehung interessant. Betrachten wir sie daher noch etwas näher. Andeutungen dazu finden sich schon weiter oben.

B. In Folge des *Beharrungsvermögens,* oder, wie man es auch nennt, der *Trägheit* (inertia) der Körper, ist bekanntlich *immer* zur *Veränderung* der Geschwindigkeit ihrer Bewegung (Vermehrung und Verminderung), also auch zur Erzeugung der Geschwindigkeit *ruhender* Körper, *Kraft* nöthig. Ist ein Körper einmal in Bewegung, so bewegt er sich *ohne* eine neue Kraft mit derselben Geschwindigkeit immer weiter fort, und es ist also *keine* Kraft weiter nöthig, als die zur ersten *Erzeugung* der Geschwindigkeit. Ist daher ein Wagenzug einmal in Bewegung gebracht worden, nemlich durch einen *Überschufs* der Triebkraft über den Widerstand, so ist kein solcher *Überschufs* weiter nöthig, sondern nur diejenige Triebkraft, die dem Widerstande ganz strenge *gleich* ist. Hienach ist auch weiter oben *gerechnet* worden. Abgesehen also von jenem ersten Überschufs der Triebkraft, der allerdings *gröfser* oder *kleiner* ist, je nachdem es die *Geschwindigkeit* der Bewegung sein soll, ist die *während* der Fahrt weiter nöthige Triebkraft immer genau *dieselbe, man mag schnell oder langsam fahren.* Und da nun jener, zur ersten Erzeugung der Geschwindigkeit nöthige Überschufs an Triebkraft gegen die überhaupt nöthige Kraft, wie es die obigen Berechnungen zeigen, gewöhnlich nur *wenig bedeutend* ist, so kommt man zu dem eigenthümlichen und beim ersten Anblick seltsam scheinenden Satze, dafs auf Eisenbahnen zu grofsen und zu kleinen Geschwindigkeiten beinahe immer nur *dieselbe* Summe von *Kraft* nöthig ist, und folglich auch die gröfsere Geschwindigkeit fast nicht mehr *kostet,* als die geringere.

C. Dieser Satz ist aber keineswegs paradox, sondern *scheint* es nur, vielleicht nur deshalb zu sein, weil er der Erfahrung bei der Fortschaffung von Lasten durch *Thierkräfte,* die bis zu den Eisenbahnen hin allein üblich war, widerspricht. Allein dieses Fortschaffungsmittel ist auch von wesentlich verschiedener Art gegen das durch *Maschinen.* Zugthiere sind allerdings *mehr* nöthig, wenn man schnell als wenn man langsam fahren will, und das schnelle Fahren kostet also auch mehr; aber das letztere nur deshalb, und zwar *immer,* weil die Thiere auch eben so wohl wenn sie ruhen, als wenn sie sich bewegen, ernährt werden müssen. Läfst man die Thiere vor den Fuhrwerken

selbst sich herbewegen, so ist aus dem Grunde zur *schnellen* Fahrt mehr *Kraft* nöthig, als zur langsamen, weil die schneller sich bewegenden Thiere *weniger* ziehen, als wenn sie langsam gehen. Ein Pferd zieht im Frachtschritt ($3\frac{1}{3}$ F. in der Secunde) 110 Pfund fort; soll es doppelt so geschwinde gehen, kaum halb so viel, bei der drei- und vierfachen Geschwindigkeit kaum noch 25 Pfund.

D. Man stelle sich vor, statt der Pferde, welche nöthig sind, eine gewisse Last im Frachtschritt $\frac{1}{2}$ Meile in der Stunde fortzuziehen, würden andere auf einen vor den Wagenzug gespannten Wagen gebracht, und man liefse sie auf demselben eine *Maschine* in Bewegung setzen, welche die Geschwindigkeit *vervierfacht*, so wird man nothwendig, wenn man will, dafs die Pferde auch hier nur im Frachtschritt gehen sollen, um ihre *volle Zugkraft* zu behalten, 4mal so viel Pferde an die Maschine spannen müssen, wenn man 2 Meilen statt $\frac{1}{2}$ Meile in der Stunde fahren will. Die vierfache Geschwindigkeit wird also auch nothwendig viermal so viel *kosten* als die einfache; aber dies doch *auch nur deshalb*, weil die Pferde eben so wohl während der Ruhezeit als während der Arbeitszeit *ernährt* werden müssen. Wäre das *nicht* der Fall, kosteten die Pferde nur während der *Arbeitszeit* Ernährung, so würde die 4fache Geschwindigkeit keineswegs mehr kosten, als die einfache: denn die Arbeitszeit bei der erstern ist dann auch nur *ein Viertel* der für die letztern. Das ist nun wirklich der Fall der *Maschinen, ohne Pferde*, und wir kommen also hier schon gleich auf den obigen Satz, dafs die vielfache Geschwindigkeit *nicht* mehr kostet als die einfache, sobald die bewegende Kraft nur dann etwas kostet, wenn sie wirklich erzeugt wird. Auf Thierkräfte ist der Satz aus dem eben vorhin angegebenen Grunde freilich nicht passend. Mit dem Pferdegöpel, vor den Wagenzug gespannt, kann man die Geschwindigkeit wohl noch mehr vervielfachen. Spannt man die Pferde ohne Maschine vor die Wagen selbst, so geht die Vergröfserung der Geschwindigkeit nicht gut über das *Vierfache* oder über 2 Meilen in der Stunde hinaus, und auch hier sind etwa 4mal so viel Pferde nöthig, jetzt deshalb, weil ihre Zugkraft nur noch der vierte Theil ist. Das Resultat ist dasselbe.

E. Auf Eisenbahnen kostet wirklich die bewegende Kraft, Dampf oder zusammengeprefste Luft, *nur dann* Geld, wenn sie gebraucht wird, nicht während der *Ruhezeit* der Wagenzüge. Also ist es ganz völlig wahr, dafs auf Dampf- oder Luftwagen-*Eisenbahnen* die gröfsere Geschwindigkeit, abgesehen von der geringen Kraft, die zur ersten *Erzeugung* der Geschwindigkeit nöthig ist,

durchaus *nicht mehr* kostet, als die langsamere Fahrt. Es ist dies lediglich die Folge der Anwendung von *Maschinen* an die Stelle von Zugthieren. Auf dem blofsen Boden, und selbst auf Chausséen und Pflaster, sind aber Maschinen entweder gar nicht, oder doch nur mit geringem Nutzen anwendbar, weil *sie selbst*, gegen die Last, welche sie fortschaffen, zu *schwer* werden. Aber auf *Eisenbahnen*, wo *dieselbe* Zugkraft wegen der geringen Reibung der Räder auf den Schienen eine viel gröfsere Last fortzuziehen im Stande ist, ist das Verhältnifs des Gewichts der nöthigen Zugmaschinen zu der Last, welche sie fortzuschaffen vermögen, so günstig, dafs ihrer Anwendbarkeit nichts entgegensteht; und da nun die bewegende Kraft hier, in so fern sie Dampf oder Luft ist, *nur dann* Kosten macht, wenn sie *wirkt*, so kostet *hier* die gröfsere Geschwindigkeit beinahe *nicht* mehr, als die kleinere.

F. Hieraus folgt der wichtige Umstand, dafs der Vorzug der Eisenbahnen vor andern Strafsen keineswegs *allein* darin besteht, dafs auf den Schienenwegen *dieselbe* Zugkraft weit *mehr Last* fortschafft, als auf gewöhnlichen Strafsen, sondern auch noch in dem *zweiten*, nicht minder wichtigen Umstande, dafs die gröfsere Geschwindigkeit, bis zu jeder beliebigen Steigerung, immer nur *wenig* mehr kostet, als die geringere, niemals das Ebensovielfache als die Steigerung beträgt.

Diese Betrachtung erklärt recht deutlich die wunderbare Erscheinung, dafs die Eisenbahnen schon so allgemein und so unwiderstehlich Eingang gefunden haben. Der erste ihrer beiden Vorzüge, blofs mehr Last mit derselben Kraft fortzuschaffen, würde dazu vielleicht nicht hingereicht haben. Aber der zweite Umstand, dafs man nun auch, fast ohne mehrere Kosten, noch jede beliebige Geschwindigkeit erlangen kann, zu dem ersten Vortheil hinzukommend, macht den Nutzen so sehr und so ungeheuer grofs, dafs er wohl hinreichen *mufste*, vermittels des Gewinns das Vorurtheil und die Anhänglichkeit am Alten schnell und allgemein zu besiegen; wozu sonst wie bekannt Viel zu gehören pflegt.

G. Um auf den Gegenstand der Überschrift dieses Paragraphen zurückzukommen, wiederholen wir, dafs das Vermögen, grofse Geschwindigkeiten zu erzeugen, keinesweges dem atmosphärischen System *ausschliefslich* eigen ist, sondern *jedem* System beiwohnt, welches einen Überschufs der Triebkraft über den Widerstand hervorzubringen im Stande ist. Auch nicht einmal *vorzugsweise* ist es der Fall, da der zur Erzeugung der Geschwindigkeit nöthige Überschufs an Kraft nur auf eine verhältnifsmäfsig kurze Zeit nothwendig und an sich selbst, eben so, verhältnifsmäfsig nur wenig bedeutend ist.

d. Vergleichung der fünf Systeme in Rücksicht der Sicherheit der Fahrt.

78.

A. Die grofse, nicht genug zu schätzende Vermehrung der *Sicherheit* der Fahrt durch die Entfernung des *Feuers* von der Bahn haben unbestritten alle fünf Systeme, und zwar *ganz gleichmäfsig*, vor den Dampfwagenbahnen voraus.

B. Ferner gewähren die drei Systeme No. I. II. und IV., mit einer Triebröhre und einer *Triebstange*, welche den vordern Wagen mit der auf dem Unterbau befestigten Triebröhre verbindet, diesem vordern Wagen unstreitig einige Sicherheit, dafs er nicht aus den Schienen komme. Dieses ist ein bestimmter und gewisser Vorzug der genannten drei Systeme vor den beiden No. III. und V., so wie vor dem Dampfwagensystem.

Der Vorzug ist unstreitig schätzbar, aber er ist am Ende nicht sehr grofs; denn die mehrere Sicherheit wird fast nur dem *einen*, vordern Wagen zu Theil, höchstens noch einigermafsen den ihm zunächst angehängten, aber durchaus nicht mehr den weiter folgenden Wagen. Diese können ebensowohl aus den Schienen gerathen, als bei den beiden andern Systemen und bei Dampfwagenbahnen.

Und dann sind auch wieder die Systeme No. I. II. und IV., so wie auch No. III., gegen No. V. dadurch im Nachtheil, dafs, wenn die Achse oder ein Rad eines Wagens, besonders am vordern Wagen, bricht, die Triebröhre in Gefahr kommt, zerschmettert, oder doch stark beschädigt zu werden, und dafs dann die Passage so lange gehemmt bleibt, bis die Triebröhre wieder hergestellt ist, während bei No. V., oder auch bei den Dampfwagenbahnen, nur der gebrochene Wagen weggeschafft werden darf, um die Passage ohne Weiteres fortsetzen zu können. Dieser Nachtheil dürfte leicht den vorigen Vortheil aufwiegen.

C. Die Systeme No. I. II. und IV., besonders No. I. und II., haben ferner grofse Schwierigkeiten und selbst Gefahren bei dem Übergange des Triebkolbens von einem Röhrenstück in das andere. Bei Dublin findet das noch nicht Statt, weil *nur ein* Röhrenstück vorhanden ist. Und so sinnreich und künstlich man auch die Klappen an den Enden der Röhrenstücke anordnen mag, so möchte doch zu bezweifeln sein, ob es möglich sein werde, jene Schwierigkeiten und Gefahren ganz zu entfernen. Das Beste möchte vielleicht noch sein, den Kolben gar nicht von einem Röhrenstück in das andere

übergehen zu lassen, sondern jedem Stück seinen eignen Kolben und einen eignen vordern Wagen zu geben. Allein dies würde dann auch wieder mehr kosten; andere neue Schwierigkeiten ungerechnet. Das System No. III. trifft der Übelstand *weniger*, und das System No. V. *gar nicht*. Also auch in diesem Punct hat No. V. vor den andern Systemen einen Vorzug.

D. Man hat es ferner den Triebröhrenbahnen, insbesondere dem System No. I., als einen Vorzug angerechnet, dafs die Begegnung und folglich der Zusammenstofs zweier Wagenzüge auf einem und demselben Schienenpaare, der bei den andern Systemen und bei Dampfwagenbahnen leicht vorkommen kann, hier *unmöglich sei*. Aber dieser Vorzug ist doch wohl nur mehr scheinbar, als wirklich; wenigstens dürfte die Gefahr, wenn man *dasselbe* Mittel, welches bei No. I. *nothwendig* ist, bei den andern Systemen *freiwillig* anwendet, auch bei diesen eben so sicher zu vermeiden sein.

Man stelle sich nemlich vor, auf einer atmosphärischen Eisenbahn solle sich ein Wagenzug von *A* aus nach *B* bewegen, so mufs, ehe das geschehen kann, von *A* nach *B* hin erst gemeldet werden, dafs man dort die Luft auspumpen oder in die Behälter ausströmen lassen solle: denn in *B*, *nicht* an dem Abfahrts-Ort *A*, mufs das geschehen; die Luft mufs *vor* dem Triebkolben verdünnt werden. Dies bedingt denn schon nothwendig, soll nicht viel Aufenthalt entstehen, das Vorhandensein eines sehr schnellen Meldungsmittels, eines *electrischen Telegraphen* zum Beispiel.

Hat man nun *dasselbe* Mittel auch bei den andern Systemen, so darf man nur von *A* nach *B* hin melden, es *werde* ein Wagenzug nach *B* hin abgehen, und der Wagenzug, welcher etwa in *B* im Begriff ist, nach *A* hin abzugehen, mufs entweder dort warten, oder sich vorsehen, dafs er auf einer Ausweichestelle warte. Da *dieselbe* Regel natürlich auch für *B* gilt, so *kann* aus *B* noch kein Wagenzug *abgegangen sein*, ohne dafs es nach *A* hin wäre gemeldet worden. Erfolgt also aus *B keine* Antwort, oder *besser*, die Antwort, dafs man die Meldung vernommen habe, wozu nach der Voraussetzung immer nur *einige Secunden* Zeit gehören, so kann der Wagenzug aus *A sicher* abgehen, ohne zu fürchten, dafs er gegen einen ihm entgegenkommenden Zug stofsen werde. Für den Fall, dafs etwa zwei entgegengesetzte Meldungen sich *kreuzen* sollten, darf man nur entweder ein für allemal für *solchen* Fall der Fahrt nach einer bestimmten Richtung den Vorrang geben, oder es ist höchstens eine zweite, den Vorrang entscheidende Meldung nöthig.

Durch *dasselbe* Correspondenzmittel also, welches für atmosphärische

Eisenbahnen *nothwendig* ist, läfst sich die Gefahr des Zusammenstofsens zweier Wagenzüge auch bei jedem andern Systeme und ebenso sicher vermeiden.

Dafs zwei Wagenzüge auf einer Station sich einholen und zusammenstofsen, ist allemal blofs ein Fehler der Dirigenten oder der Wagenführer.

Die Gefahr des Stofses gegen *Hindernisse* auf der Bahn endlich ist bei *allen* Systemen dieselbe.

Also auch in diesem Punct hat die atmosphärische Eisenbahn, und überhaupt kein System mit Triebröhren, vor den Systemen ohne Triebröhre einen wesentlichen Vorzug.

E. Ein *Vorzug* der Systeme No. I. II. III. mit Triebröhren vor den übrigen ist dagegen der, dafs der vordere Wagen weniger *complicirt* ist, als ein Dampfwagen oder Luftwagen, und also auch weniger in Gefahr, Schaden zu leiden. Dafür sind aber auch wieder die Längsklappen und die Kolben in einer solchen Gefahr, und Eins möchte wohl das Andere aufwiegen.

F. Ein entschiedener *Nachtheil* der Systeme No. I. II. III. und IV. gegen No. V. und gegen Dampfwagenbahnen ist endlich der, dafs, wenn die Längsklappe, oder der Triebkolben, oder die Triebröhre während der Fahrt schadhaft wird, der Wagenzug auf der Bahn stehen bleibt und dann durch *Pferde* abgeholt werden mufs, während das Gleiche bei den andern Systemen schneller durch *Luft- oder Dampfwagen* geschehen kann.

c. Vergleichung der fünf Systeme in Rücksicht von Ersparungen an den Anlagekosten der Bahn, die sie gegen eine Dampfwagenbahn gewähren können.

79.

A. Ein erstes Mittel, an den zu einer Dampfwagen-Eisenbahn nöthigen Anlagekosten zu sparen, ergiebt sich, wenn *die Schienen und der Unterbau schwächer gemacht werden können.*

Dieses geht in der That bei allen obigen fünf Systemen, und zwar beinahe *gleichmäfsig* an; denn Dampfwagen-Eisenbahnen erfordern, *insbesondere* der schweren Zugmaschine wegen, die 200 bis 300 Ctr., also zwei bis drei mal so viel wiegt, als ein beladener Personen- oder Güterwagen, einen starken Unterbau: bei den Systemen I. II. III. und IV. dagegen ist der vordere Wagen beinahe nichts anders als ein beladener Güterwagen, und braucht nicht eben mehr zu wiegen. Der Luftwagen für das System No. V. wird *vielleicht* etwas schwerer nöthig sein, als ein Transportwagen, weshalb wir denn auch oben bei den Kostenvergleichungen für das System No. V. in (73. *A.*) *weniger*

an Ersparung durch den leichten Unterbau angesetzt haben, als in (§. 69. *K.*) für die vier andern Systeme: da indessen die Luftcylinder für No. V. nach Belieben auf mehrere Wagen sich *vertheilen* lassen, so möchte durch eine gute Anordnung dem System V. auch wohl *ganz* der den vier andern Arten in diesem Punct eigene Vorzug vor den Dampfwagenbahnen zugewendet werden können.

Dafs übrigens die Ersparung an den Kosten des Unterbaues *bei weitem* nicht die Kosten der *Triebröhre* aufwiegt, die für die Systeme I. II. III. und IV. gegen Dampfwagenbahnen *mehr* nöthig ist, ergeben die obigen Kostenvergleichungen. Die Triebröhre kostet immer mehr denn *doppelt* so viel, als der *gesammte* Unterbau, nebst den Schienen selbst, und folglich läfst sich hieran jedenfalls nur ein *kleiner Theil* der Kosten der Triebröhre ersparen.

B. Ein zweites Ersparungsmittel ist, wenn die *Brücken, über* welche die Eisenbahn hinweggeht, *schwächer*, und diejenigen, *unter* welche sie hindurchgeht, *niedriger* sein können; desgleichen wenn etwa der *Damm schmaler* sein kann.

a. Die *Brücken, über* welche die Eisenbahn hinwegläuft, können in denselben Fällen schwächer sein, wo es der Unterbau sein kann. Es gilt also in diesem Punct Dasselbe, was in (*A*) bemerkt ist. Der Vorzug vor den Dampfwagenbahnen kommt also hier allen fünf obigen Systemen *gleichmäfsig* zu.

b. Das letztere ist auch, und zwar *völlig* gleichmäfsig, für alle fünf Systeme in Absicht der Brücken der Fall, *unter* welche die Eisenbahn hindurchgeht. Bei allen fünf Systemen können diese Brücken *niedriger* sein; denn bei keinem hat der vordere Wagen, gleich dem Dampfwagen, einen *Schornstein*, wegen dessen die Brücken über die Eisenbahn hinweg eine lichte Höhe von 20 und mehreren Fufsen haben müssen. Hier werden sie um 5 und mehrere Fufs niedriger sein können, und die daraus entstehende Ersparung kann *bedeutend* sein, da, aufser der Ersparung an den Brücken selbst, auch die *Anfahrten* der Querwege niedriger und die *Einschnitte* für die Eisenbahn weniger tief nöthig sind. In *keinem* Fall können die Kosten in diesem Punct *höher* sein, als bei Dampfwagenbahnen.

Da die Kosten der *Brücken* gar zu sehr von örtlichen Umständen abhängen, so ist für Ersparungen daran oben in der Kostenvergleichung lieber gar nichts angesetzt worden. Es kommt also in diesem Punct allen fünf Systemen noch einige Verminderung der Kosten gegen die der Dampfwagenbahnen zu gut.

c. Schmaler als für Dampfwagenbahnen würde der *Damm* nur dann sein können, wenn für die Röhrensysteme I. II. III. IV. *ein einzelnes* Schienenpaar *eher* ausreichte, als für Dampfwagen; denn sonst ist die nöthige *Breite* völlig dieselbe: allein damit verhält es sich eher gerade umgekehrt. Bei den Dampfwagenbahnen, so wie bei dem System No. V., welches in *diesem* Punct mit ihm in eine und dieselbe Classe gehört, kann man sich auf längern Stationen wenigstens möglicherweise noch mit *Ausweichestellen* helfen: bei den Röhrensystemen durchaus nicht. Hier können sich die Wagenzüge nur allein auf den Stationsstellen begegnen; und wahrscheinlich werden sogar diejenigen Ingenieure, welche für längere, einigermaafsen frequente Linien *immer zwei* Schienenpaare verlangen, Recht haben.

Hier also dürfte bei den Röhren-Eisenbahnen I. II. III. IV. durchaus keine Kosten-Ersparung gegen die Dampf- und Luftwagenbahnen möglich sein. Letztere beide aber sind in *diesem* Punct wieder völlig gleich.

C. Ein drittes Ersparungsmittel ist, wenn die *Bahn,* also die *Krone des Dammes,* mehr dem Terrain folgen kann; und diese Ersparung kann in schwierigem, selbst nicht einmal bergigem, sondern blofs unebenem Terrain ganz *ungemein bedeutend* sein; denn wenn man mehr der Oberfläche des Terrains folgen darf, so ist nicht allein weniger *Erd-Arbeit,* sondern, wegen der geringeren Böschungen der Aufschüttungen und Einschnitte, weniger *Grund und Boden* zu der Bahn nöthig, welcher oft *sehr* theuer ist. Selbst zu der Bahn zwischen Berlin und Potsdam, wo das Terrain durchaus nicht sehr schwierig ist, hat, um der Bahn für die Dampfwagen Gefälle von nicht über 1 auf 300 zu verschaffen, der Damm wohl *dreimal* so viel Erd-Arbeit erfordert, als z. B. zu einer viel breitern *Chaussée* nöthig gewesen sein würde, und ein Ansehnliches an Terrain zu den Böschungen.

Nun sind allerdings für die Röhrensysteme No. I. II. III. und IV., ebensowohl wie für No. V., stärkere Gefälle als für Dampfwagen *zulässlich:* allein wenn die Bahn *abwechselnd steigt und fällt,* was immer am häufigsten der Fall sein wird, entstehen daraus, wenn man dem Damm für No. I. II. III. und IV. stärkere Gefälle giebt, auch alle die in (§. 76.) aufgezählten Nachtheile, und der Verlust an *Kraft* möchte wohl leicht den Gewinn an den *Anlagekosten* wieder aufwiegen. Nur dann, wenn die Bahn *fortwährend* steigt oder fällt, kommen die Röhrensysteme gegen Dampfwagenbahnen dadurch, dafs bei ihnen stärkere Gefälle zuläfslich sind, in Vortheil, und *bedeutend* in Vortheil.

Für das System No. V. dagegen, mit Luftwagen ohne Triebröhre, findet der Vortheil nicht allein *immer* Statt, sondern stärkere Gefälle sind für dieses System, wie sich weiter oben zeigte, sogar in dem Maafse besser als schwächere, dafs man hier sogar wohlthut, horizontale und schwache Gefälle zu *vermeiden*.

In diesem Punct also hat das System No. V. nicht allein vor den Dampfwagenbahnen, sondern auch vor allen andern 4 Systemen einen *entschiedenen* und *bedeutenden* Vorzug. Mit dem System No. V. und, man kann wohl sagen, *nur* durch dieses System, würden sich so manche ungeheuer hohe Dämme und tiefe Einschnitte, ja so mancher *Tunnel* und also öfters *sehr grofse* Kosten ersparen lassen.

D. Ein viertes Ersparungsmittel ist, wenn die *nöthigen Krümmen* einer Eisenbahn kleinere Halbmesser als für Dampfwagen bekommen dürfen. Auch dies kann möglicherweise *sehr* grofse Kosten sparen; denn es ist öfters in unebenem Terrain sehr schwer, grofse Halbmesser der Krümmen zu erzielen, und es sind, blofs um dazu zu gelangen, zuweilen hohe Dämme und tiefe Einschnitte, selbst Tunnels nöthig.

Es ist als ein Vorzug der atmosphärischen Eisenbahnen gerühmt worden, dafs dieselben wirklich stärker gebogene Krümmen sollen haben können, als Dampfwagenbahnen; und wenn dies der Fall wäre, so würde der gleiche Vorzug auch noch wenigstens den Systemen II. und IV. zukommen. Allein es ist kein rechter und kein zureichender Grund einzusehen, warum es sich mit den Krümmen so verhalten sollte.

Für Dampfwagen müssen nemlich die Krümmen besonders deshalb bedeutend grofse Halbmesser haben, damit die Wagen, wenn sie sich mit grofser Geschwindigkeit bewegen, weniger in Gefahr sein mögen, mit ihren Spurkränzen über die Schienen zu springen, und besonders, damit sie nicht durch die *Schwungkraft*, die in geradem Verhältnifs des Quadrats der Geschwindigkeit und in umgekehrtem Verhältnifs der Gröfse der Halbmesser der Krümme zunimmt, über die Schienen hinausgeschleudert werden. Bei den Röhren-Eisenbahnen mit Triebkolben, also auch bei der atmosphärischen Eisenbahn, ist das Einzige, was gegen diese Gefahr eine den Spurkränzen zu Hülfe kommende Gegenwirkung gewährt, der Umstand, dafs der vordere Wagen mittels der Triebstange an den Triebkolben und folglich an die Triebröhre befestigt ist. Allein wenn auch wirklich die Triebröhre so fest auf die Unterlagehölzer angeschraubt werden kann, dafs sie nicht abgerissen wird, so kann doch die Triebstange, und selbst die Triebröhre, von der Gewalt der Schwungkraft,

die *sehr grofs* ist und z. B. in einer Krümme von 50 Ruthen Halbmesser bei 8 Meilen Geschwindigkeit in der Stunde schon mehr als den 7ten Theil des *Gewichts des Wagens*, mithin selbst für einen Führerwagen, der nicht schwerer ist als ein Transportwagen, schon wenigstens 15 Ctr. beträgt, *zerbrochen* werden. Also ist *dieses* Schutzmittel nur gar unsicher. Dann aber schützt die Triebstange, wie schon bemerkt, nur den *vordern* Wagen, und höchstens noch einigermaafsen den zunächst folgenden, aber durchaus nicht die übrigen Wagen des Zuges, und nutzt also, wenn man auch wirklich darauf rechnen dürfte, nur sehr wenig.

Das *sichere* Mittel gegen die Schwungkraft, wenn man kurze Krümmen machen will, sind allein *hölzerne hohe Schienen*, neben die eisernen, an der convexen Seite der Krümmen auf die Unterlagehölzer befestigt. Und dieses Mittel läfst sich bei *allen* Eisenbahnsystemen *gleichmäfsig* anbringen, und dürfte auch wohl bei allen *gleichmäfsig nothwendig* sein.

Also auch in diesem Punct haben die Eisenbahnen mit Triebröhren und Triebkolben vor den übrigen Systemen nur einen geringen und zweifelhaften Vorzug und, da die hölzernen Schutzschienen in den Krümmen der dem ersten folgenden Wagen wegen dennoch überall nothwendig sind, eigentlich gar keinen Vorzug. Alle Systeme sind hier im gleichen Falle. Dafs man bei Dublin wirklich sehr schroffe Krümmen gemacht hat und sie mit grofser Geschwindigkeit befährt, beweiset nichts. Denn der Stofs und die Gefahr sind hier auch sehr grofs, und ohne die *Schutzschienen*, die man dort gelegt hat, würden wahrscheinlich die Wagen aus der Bahn geschleudert werden.

f. Von den Krümmen einer Eisenbahn.

80.

Ich will hier im Vorbeigehen noch eines die Krümmen betreffenden, ganz erheblichen Umstandes gedenken.

In *jeder* Krümme nemlich ist *mehr Zugkraft* nöthig, als auf *gerader* Bahn; und zwar aus zwei Ursachen. Die erste ist, weil in der Krümme die Spurkränze der Wagen durch die Schwungkraft seitwärts an die Schienen gedrückt werden und dadurch eine Reibung mehr entsteht; die zweite ist die, dafs, wenn, wie auf Eisenbahnen gewöhnlich, und wie es auch nicht anders sein kann, die Räder nicht wie bei gewöhnlichen Fuhrwerken um die Achse sich drehen, sondern daran fest sind und also einen Cylinder, vom Durchmesser der Räder, von der Länge der Bahnspurbreite bilden, die Räder auf den Schienen

an der *äufsern* Seite der Krümme nicht blofs *rollen* müssen, sondern auch um die Länge, um welche die äufsere Schiene die innere übertrifft, *geschleift* werden und also auch dadurch noch einen bedeutenden Widerstand erfahren.

Der erste der beiden Übelstände läfst sich bekanntlich so ziemlich heben, wenn man die äufsern Schienen in einer Krümme etwas *höher* legt, als die innere, weil dann der Abhang der Bahn, der *Breite* nach, der Schwungkraft entgegenwirkt und also die Spurkränze der Räder von den Schienen abhält. Der zweite Übelstand (und dieser ist in schroffen Krümmen sogar der bedeutendere) ist offenbar *unvermeidlich*, so lange die Räder mit der Achse fest verbunden sind.

Ich habe, um diesen zweiten Übelstand zu heben, anderswo, im 3ten Heft 13ten Bandes dieses Journals, §. 45. S. 246 etc. ein Mittel vorgeschlagen, welches mit geringen Kosten ausführbar ist und welches mir durchaus practisch zu sein scheint. Ich bringe dasselbe hier in Erinnerung.

Für die Leser der besondern Abdrücke dieser Abhandlung, die vielleicht das Journal nicht zur Hand haben, setze ich die dortige, nicht lange Stelle hier wörtlich her. Auch sind für sie die nöthigen Figuren beigefügt.

„Die Räder, gleich denen der gewöhnlichen Fuhrwerke, *mit* ihren „Buchsen um die Achsen sich drehen zu lassen, geht durchaus nicht an; selbst „wenn man die Buchsen so lang machen wollte als die *halben Achsen*; aus „den in §. 36. angezeigten Gründen. Gesetzt nemlich, die Achsen hätten, wie „gewöhnlich, 3 Zoll im Durchmesser, das Rad 3 Fufs: so durchläuft die Buchse, „auf der Achse sich reibend, den 12ten Theil des ganzen Weges, welchen „das Fuhrwerk zurücklegt, also auf jede Meile Weges nicht weniger als 2000 Fufs „Länge. Einer solchen Reibung, unter der bedeutenden Last der Ladung, „widersteht aber das härteste und zäheste Metall, bei der besten Ölung, nicht „auf die Dauer. Achsen oder Buchsen, oder beide zugleich, würden sich in „jedem Fall bald so weit abreiben, dafs das Rad viel zu wenig mehr seiner „Bahn folgen würde; und da nun schon Spielraum an den Stöfsen bleiben mufs, „der sich durch die Reibung ebenfalls vergröfsert, so würden bald die Räder „so sehr schlottern, dafs sie unfehlbar in Gefahr kommen würden, von den „Schienen abzuspringen."

„Wohl aber möchte es angehen, die Räder nicht sowohl um die *Achsen*, „als vielmehr um die *Buchsen* sich drehen zu lassen; und zwar *nur in den* „*Krümmen*, und sogar *nur* auf den *Unterschied* der Länge der äufsern und „innern Schienen derselben." Hier würde die Reibung, und folglich die Ab-

„nutzung, nur ein so überaus geringer Theil von derjenigen der Drehung der „Buchsen um die Achsen sein, dafs er dagegen beinahe als Null zu betrachten „sein würde. Gesetzt nemlich, die Länge der Krümmen wäre, um einen so „ungünstigen Fall anzunehmen, wie er kaum irgendwo vorkommen möchte, die „*ganze* Länge der Bahn, und der Halbmesser der Krümmen betrüge nur 50 Ruthen „= 600 Fufs, die Breite der Bahn aber 6 Fufs: so würde sich die Länge der „äufsern Schienen in den Krümmen zur Länge der innern wie 606 zu 600 „verhalten. Der Unterschied der Länge der Schienen wäre also der 100ste „Theil der gesammten Länge, und folglich 240 Fufs auf die Meile. Nun ver„halten sich gewöhnlich die Durchmesser des Rades und der Buchse wie 1 „zu 4, also würde sich das Rad um die Buchse, auf die Meile Bahn, um $\frac{240}{4}$ „= 60 Fufs lang reiben, statt, wie oben, wenn die Buchse um die Achse sich „dreht, auf 2000 F. lang. Beträgt die Länge der Krümmen nur die *halbe* Länge „der Bahn, und die Halbmesser der Krümmen sind 100 Ruthen = 1200 Fufs, „so ist der Unterschied der Länge der äufsern und innern Schienen in den „Krümmen nur der 400te Theil der Länge der Bahn, und folglich hat sich das „Rad um die Buchse nur noch 15 F. lang zu reiben. Meistens wird die Länge „der Reibung, da diejenige der Krümmen in der Regel *viel* weniger beträgt „als selbst die *halbe* Länge der Bahn, noch *viel* geringer sein. Die Reibung „wird also jedenfalls so unbedeutend sein, dafs für die *Abnutzung* der sich „reibenden Flächen durchaus nichts zu fürchten ist."

„Es kommt also nur weiter darauf an, welche Wirkung diese Einrich„tung haben werde und in wie fern sie practisch ausführbar sein würde."

„Zuerst ist die *Absicht* der Anordnung durchaus nicht die, dafs die Räder „sich *fortwährend* um die Buchsen drehen sollen; im Gegentheil ist sie, wie „gesagt, blofs die, dafs sie sich *nur* in den Krümmen, und auch dort nur um „so viel oder um so weit drehen sollen, als der Unterschied der Länge der „äufsern und der innern Schienen beträgt, damit *so* dasjenige Rad, welches „auf der äufsern Schiene rollt, im Stande sei, *unabhängig* von dem andern „Rade, einen, um jenen Unterschied längern Weg zu durchlaufen, als das „andere Rad, während es gleichzeitig *aufserdem* mit eben der Winkelgeschwin„digkeit, wie die Achse des andern Rades, sich fortbewegt. Beides wird es „auch wirklich thun, sobald es nur, wie vorausgesetzt wird, um die Buchse „sich drehen *kann*. Denn drehte es sich z. B. nicht um die Buchse, so müfste „es, um den längern Weg zurückzulegen, wie weiter oben aus einander ge-

„setzt, um den Unterschied der Länge der äufsern und innern Schienen, hier „aber mit *sehr starker* Reibung, *geschleift* werden, oder *rutschen.*"

„Hieraus folgt sogleich, dafs es, ganz anders wie in dem Fall, wo das „Rad um die Achse sich dreht, hier durchaus nicht nöthig ist, dafs die Reibung „des Rades um die *Buchse* sehr *gering* sei. Dreht sich die *Buchse* um die „*Achse,* so kommt es sehr darauf an, die Reibung, so weit es nur immer mög„lich ist, zu vermindern, damit recht wenig *Zugkraft* nöthig sei; und deshalb „mufs die Buchse um die Achse und an den Stöfsen schon von Anfang an hin„reichenden *Spielraum* haben. Hier dagegen, wo das *Rad* um die *Buchse* „sich drehen soll, kommt es blofs darauf an, dafs die dabei Statt findende Rei„bung *nicht stärker* der Umdrehung widerstehe, als die Reibung auf den Schienen „selbst dem Rade, damit das Rad nicht auf den Schienen rutsche, da, wo es „(in den Krümmen) in den Fall kommt, dazu gezwungen zu werden, sondern „*statt dessen* um die Buchse sich drehe. Unter diesen Umständen kann die „Reibung des Rades um die Buchse immerhin *sehr stark* sein, und es ist sogar „gut, wenn sie nicht zu gering ist, damit das Rad *aufserhalb* der Krümmen „*nicht* um die Buchse, sondern *mit* der Achse, wie gewöhnlich, in den *Zapfen*„*lagern* sich drehe. Setzt man die Reibung auf den Schienen gleitender oder „rutschender Räder, wie oben, gleich dem 5ten Theile der Last, so kann die „Reibung des Rades auf der Buchse, da der Durchmesser des Rades, wie oben „bemerkt, in der Regel 4 mal so grofs ist als der der Buchse, 4 mal so stark „sein, also vier Fünftheile der Last betragen, wenn sie der Umdrehung des „Rades eben so stark widerstehen soll, als die Reibung auf den Schienen. Ist „sie geringer, so wird gewifs das Rad nicht mehr auf den Schienen gleiten, „sondern, wie man es verlangt, statt dessen um die Buchse sich drehen. Jene „Reibung ist aber *sehr* stark, und um sie, wenn man es wollte, hervorzubringen, „müfste das Rad auf der Buchse geradezu angeklemmt werden. Die Reibung „der Buchse auf die Achse wird man durch Ölung bis auf den 20sten und „30sten Theil der Last herabzubringen suchen: hier beträgt sie *vier Fünftheile* „davon, und ist also 16 bis 24 mal so stark."

„Daraus folgt nun, dafs, wenn man, wie es geschehen würde, Ölung „zur Hülfe nimmt, *Spielräume* des Rades auf der Buchse und an den Stöfsen „der Drehung fast gar nicht nöthig sind, sondern, dafs das Rad *sehr genau* „auf die Buchse passen darf. Und da nun die Drehung auch nur selten vor„kommt, so werden sich Spielräume so leicht auch nicht durch die Reibung „*bilden.* Also wird das Rad immer auf der Buchse sehr fest und stabil sein,

„und daher ist für das *Schlottern* der Räder nichts zu fürchten. Mithin ist, „zunächst in diesem Punct (und es ist solches der ***Hauptpunct***), die Anord„nung ***zuverlässig*** practicabel. Die Räder werden, wenn sie sonst nur fest „gebaut sind, eben so stabil und starr mit den Achsen verbunden sein und „bleiben, und ebenso wenig von den Schienen abspringen, als beständen sie, „wie gewöhnlich, mit der Achse aus einem Stück."

„Es kommt aber weiter darauf an, wie die Räder zu construiren sein „dürften, um ihnen vollständige Festigkeit zu verschaffen."

„Gewöhnlich wird die Buchse, die aus gegossenem Eisen ist, sehr stark „auf die geschmiedete Achse getrieben und darauf noch mittels eines, nach der „Länge der Achse, halb in die Achse, halb in die Buchse getriebenen Pflockes *p* „(Fig. 23.) befestigt. In die Achse werden die Enden der geschmiedeten Spei„chen *s*, *s* .... sogleich mit eingegossen. An den andern Enden sind die „Speichen mittels eines geschmiedeten eisernen Kranzes *k*, *k* unter einander ver„bunden, und auf diesen ist die Felge *f*, *f*, ebenfalls aus geschmiedetem Eisen „und mit dem Spurkranz aus einem Stück bestehend, festgeschraubt. Aufsen „wird die Felge abgedreht."

„Soll nun das Rad um die Buchse *b* (Fig. 21. 22. und 23.) sich drehen „können, so ist nichts weiter nöthig, als dafs die Speichen *s*, *s*, eben wie an ihrem „einen Ende, nach der Felge hin, auch an ihrem andern Ende, nach der Buchse hin, „statt sie in dieselbe mit einzugiefsen, durch einen starken geschmiedeten oder „auch gegossenen eisernen Kranz *r*, *r* unter einander verbunden werden. Dieser „Kranz wird ausgebohrt und die Buchse wird genau nach demselben Durch„messer abgedreht; der Kranz *r* dreht sich dann um die Buchse *b* und bil„det gleichsam eine zweite Buchse, welche um die erste läuft. Diese zweite „Buchse *r* kann man ***Rad-Buchse***, die erste, an der Achse feste Buchse *b* „***Achsen-Buchse*** nennen. Damit die Radbuchse *r* einestheils von der Achsen„buchse *b* nicht abgleiten, anderntheils erforderlichenfalls *mit* dem Rade von der „Achsenbuchse abgezogen werden könne, mufs die letztere nach *innen* einen „festen, mit ihr aus einem Stück bestehenden, um die Dicke der Radbuchse „vortretenden Rand *u*, *u* (Fig. 22.) bekommen; von *aufsen* her aber mufs ein „zweiter, abnehmbarer, ebenfalls um die Dicke der Radbuchse vortretender Rand „*v*, *v* an die Achsenbuchse angeschraubt werden (nach Fig. 22. und 23.), zwischen „welchen beiden Rändern dann die Radbuchse *r*, *r* umläuft, und von welchen „sie in ihrer Bahn um die Achsenbuchse gehalten wird. Spielräume sind, wie „bemerkt, nicht weiter nöthig, als dafs nur so eben die Radbuchse nicht geradezu

„eingeklemmt sei, sondern, wenn auch mit ziemlich ansehnlicher Reibung, doch „wenigstens noch *umlaufen* könne. Felgen, Speichen und Buchsen behalten „ihre gewöhnliche Breite und Stärke; denn auch die *Länge mn* (Fig. 21. u. 22.) „der Achsenbuchse, die gewöhnlich 7 Zoll beträgt, ist für die Berührung mit „der Radbuchse gewifs völlig hinreichend, und die Basis von 7 Zoll breit ist „für die noch übrige Entfernung *pq* (Fig. 22.) von der Felge, welche $\frac{36-9}{2}$ „$= 13\frac{1}{2}$ Zoll beträgt, genügend, um jedes *Schwanken* des Rades zu verhin-„dern. Es kommt nichts zu den gewöhnlichen Theilen des Rades hinzu als „die Radbuchsen *r, r;* und das Gewicht und die Kosten dieser sind nicht be-„deutend."

„Dagegen würde aber für die Festigkeit, und selbst für die Kosten auf „die Dauer, noch mancher wesentliche Gewinn erzielt werden."

„Es ist nemlich *jetzt* ziemlich schwierig, wenigstens im Erfolge mehr „oder weniger mifslich, die Speichen in die Buchsen mit *einzugiefsen.* Dieses „fällt hier weg, da die Speichen statt dessen nach innen zu, eben wie nach aufsen, „durch einen *geschmiedeten* Kranz *r, r* mit einander verbunden werden."

„Sodann ist es nicht wenig schwierig, die gegossene Buchse stark und „fest genug auf die geschmiedete Achse zu treiben und darauf zu befestigen; „es fehlt nicht an Beispielen, dafs der Pflock *p* (Fig. 23.), auf welchem vor-„züglich die Verbindung der Achse mit der Buchse beruht, seinen Dienst ver-„sagt; und dann kann das Rad von der Achse abgestreift werden; was eine „ähnliche, aber hier weit gröfsere Gefahr hat, als wenn von gewöhnlichen „Wagen ein Rad abläuft. Statt dessen kann jetzt die Radbuchse *b* (Fig. 22.) „mit der Achse *a* völlig *aus einem Stück* bestehen, und es dürfte auch wahr-„scheinlich nicht unausführbar sein, die Radbuchse, statt sie aus gegossenem „Eisen zu machen, sogleich, mit ihrem vortretenden Rande *u, u,* mit der Achse „aus einem Stück zu *schmieden;* was nichts anderes sein würde, als dafs man „der Achse, gegen jedes ihrer beiden Enden hin, auf 7 bis 8 Zoll lang, eine „*Verstärkung* gäbe, die hernach, gleich den Zapfen der Achse, abgedreht „würde, die aber dann auch nicht den grofsen Durchmesser der gegossenen „Buchse von 9 Zoll, sondern etwa nur 6 Zoll Durchmesser nöthig hätte; „wodurch schon gleich wieder an Gewicht und Kosten der Räder gespart „werden würde."

„Endlich mufs *jetzt,* wenn etwa ein Rad schadhaft wird, oder vielleicht „die Felgen oder der Spurkranz neu abgedreht werden sollen, entweder das

„Rad von der Achse gelöset werden; was sehr schwierig ist: oder die Achse „mufs mit *beiden* Rädern abgenommen und gehandhabt werden; was beschwer- „lich ist. Ist dagegen die Radbuchse *r*, *r* vorhanden, so kann das Rad, ähn- „lich dem an gewöhnlichen Fuhrwerken, jeden Augenblick ohne alle Schwierig- „keit abgezogen und wieder aufgesteckt werden, und die Achse bleibt fest und „unberührt."

„Die Anordnung der *Radbuchsen* dürfte daher nicht allein eben so sicher „und vollständig practisch ausführbar sein, als sie ihren Zweck erfüllen würde, „sondern sie dürfte auch noch mancherlei wesentliche Vortheile für die Festig- „keit, Dauer und Kosten-Ersparung gewähren."

Bedient man sich dieses Mittels und befestigt in den Krümmen hölzerne Schutzschienen neben die eisernen, so wird man in *allen* Systemen, und in allen mit *gleichem* Grade der Sicherheit und *gleicher* Ersparung an der Zugkraft in den Krümmen, diesen auch kleinere Durchmesser geben können als gewöhnlich, selbst bis zu 50 Ruthen hinab.

g. Übersicht der Vergleichung der fünf Systeme untereinander und mit dem Dampfwagensystem.

81.

In der vorstehenden Auseinandersetzung wird man bemerkt haben, dafs sich fast in allen Puncten ein Vorzug des Systems No. V. vor den vier andern Systemen, so wie auch vor den Dampfwagenbahnen ergiebt, und dafs es allen diesen fast in keinem Puncte nachsteht. Um dies deutlicher vor Augen zu stellen, wollen wir kurz und übersichtlich hersetzen, wie es sich dem Obigen zufolge mit dem System No. V. gegen die andern vier Systeme und gegen das Dampfwagensystem verhält.

Erstlich die *Anlage-, Erhaltungs- und Benutzungskosten* einer Eisenbahn nach dem System No. V. werden in den *gewöhnlichen* Fällen, zu welchen die zum Beispiel genommene Bahn zwischen Berlin und Potsdam gehört, also auf *längere* Linien und für die *allgemeine* Anwendung der Eisenbahnen, mit Luftwagen *zweiter* Art um ein nicht Unbedeutendes *geringer* sein als die einer *Dampfwagenbahn* (§. 74. 611. 5.), und mit Luftwagen *erster* Art freilich um Etwas, wiewohl nicht verhältnifsmäfsig *viel* höher (618. und 619.); indessen wird man auch schwerlich der Luftwagen erster Art sich bedienen.

Alle vier andern Systeme, also auch die sogenannte atmosphärische Bahn, kosten *sehr bedeutend viel mehr* zu bauen, zu erhalten und zu benutzen, als eine Dampfwagenbahn, zum Theil 2, 3 und 4mal so viel *mehr* in den Anlagekosten, als der *ganze Unterbau* (611.).

In ungewöhnlichen Fällen, wo Dampfwagen gar nicht mehr ausreichen, nemlich wo sehr hohe und steile Abhänge zu ersteigen sind, kann das Verhältnifs der Kosten von No. I. II. III. IV. möglicherweise für diese günstiger sein, aber schwerlich wird, wegen der kostbaren *Triebröhre, jemals* irgend eins der vier ersten Systeme *weniger* Anlagekosten erfordern, als No. V.

Zweitens. Den sehr grofsen Vorzug vor den Dampfwagenbahnen, dafs das *Feuer von der Bahn entfernt wird* und dafs auch *Wasser-, Wind-* und *Thierkraft,* wo die Örtlichkeit es zuläfst, wenigstens hülfsweise, neben der Dampfkraft benutzbar ist, hat No. V. mit No. I. II. III. und IV. vollkommen gemein, und ist also darin den übrigen Systemen *gleich.*

Drittens. Zum *Ersteigen* sehr hoher und steiler Abhänge, wo Dampfwagen nicht mehr wohl ausreichen, sondern jetzt *stehende* Maschinen nöthig sind, ist das atmosphärische System No. I. nur in beschränktem Maafse geeignet. Schon auf einen Abhang von 1 auf 40 lassen sich nur etwa 975 Ctr. Last auf einmal hinaufbringen, und ein Wagenzug von 1500 Ctr. schwer läfst sich nur noch auf einen Abhang von 1 auf 63 hinauftreiben (§. 75. *B.*).

Das System No. IV. ist hier gar nicht passend (§. 75. *E.*).

Die Systeme No. II. III. sind hier sehr wohl passend, besonders No. II.; nur werden sie hier auch sehr kostbar sein (§. 75. *C.*).

Das System No. V. ist mit Hülfe des Mittels (§. 58.) auch hier anwendbar (§. 75. *F.*), und zwar wahrscheinlich mit *geringern Kosten* als jedes andere.

Die Mittel zum *Hemmen* beim Bergabfahren sind bei allen fünf Systemen dieselben; jedoch hat No. V. vor den vier andern, insofern es darauf ankommt, die Geschwindigkeit blofs zu *mäfsigen,* vor den vier andern auch hier einigen Vorzug (§. 75. *G.*).

Viertens. In Fällen, wo die Bahn *abwechselnd ziemlich* stark *steigt und fällt,* haben No. IV. und V., und besonders No. V., in Absicht der Ersparung an Kraft und in Rücksicht der Gefahr zu grofser Geschwindigkeiten vor No. I. II. und III., so wie auch vor den Dampfwagenbahnen, einen sehr wesentlichen Vorzug, der so bedeutend ist, dafs allein wegen des Grundmangels auch der atmosphärischen Bahnen in *diesem* Punct, dieselben vielleicht

sogar nur ausschliefslich für Fälle, wo, wie bei Dublin, die Strafse *fortwährend steigt*, rathsam sein dürften (§. 76.).

Fünftens. Rücksichtlich der Möglichkeit der Hervorbringung *grofser Geschwindigkeiten* hat kein System vor dem andern einen Vorzug.

Sechstens. Rücksichtlich der *Sicherheit* der Fahrt haben No. I. II. und IV. vor den übrigen und vor den Dampfwagenbahnen *den* Vorzug, dafs die Triebstange den vordern Wagen hindert, aus den Schienen zu kommen. Aber sie schützt auch nur diesen einen Wagen, höchstens noch einigermaafsen den weiter folgenden. Der Vorzug ist also nicht grofs. Dagegen sind sie, so wie No. III., gegen No. V. im Nachtheil, wenn eine Achse oder ein Rad bricht (§. 78. *B.*). Bei den Übergängen des Triebkolbens aus einem Röhrenstück in das andere sind No. I. II. und IV., besonders No. I. II., gegen No. III., und noch mehr gegen No. V. *sehr* im Nachtheil (§. 78. *C.*). Der Vorzug vor No. I. II. und IV., dafs das *Zusammenstofsen* zweier Wagenzüge hier *unmöglich* ist, ist nur mehr scheinbar; und durch *dieselben* Mittel, die für No. I. II. und IV. an sich nothwendig sind, läfst sich das Zusammenstofsen auch bei allen andern Systemen vermeiden. Die atmosphärische Eisenbahn hat in diesem Punct keinen Vorzug vor den andern Systemen, und No. V. steht keinem nach (§. 78. *D.*). Der vordere Wagen von No. I. II. und III. ist zwar weniger complicirt als von No. IV. und V., dafür hat aber No. V. die nicht weniger complicirte Luftklappe und den Triebkolben der Triebröhre gar nicht und ist also auch hier nicht im Nachtheil (§. 78. *E.*). Endlich hat No. V. mit dem Dampfwagensystem den Vorzug gemein, dafs, wenn etwas während der Fahrt schadhaft wird und der Wagenzug deshalb stehen bleibt, nicht, wie bei den andern Systemen, *Pferde* abgeschickt werden müssen, um ihn weiter zu schaffen (§. 78. *F.*).

Siebentes. In Rücksicht der möglichen Ersparung an den Anlagekosten gegen die der Dampfwagenbahnen hat No. V. den Vortheil, dafs der *Unterbau* schwächer und wohlfeiler sein kann, beinahe ganz mit No. I. II. III. IV. gemein; doch verzehren bei diesen vier Systemen die Kosten der *Triebröhre* jene Ersparung vielfach (§. 79. *A.*). Dafs die Brücken in der Bahn, oder über die Bahn, mit dem Unterbau zugleich schwächer und wohlfeiler sein können, als in Dampfwagenbahnen, kommt allen 5 Systemen gleichmäfsig zu (§. 79. *B.* *a.* und *b.*). Aber das zweite Schienenpaar läfst sich für No. I. II. III. und IV. eben so wenig und noch weniger ersparen, als für No. V. und für Dampfwagenbahnen (§. 79. *B.* *c.*). In Rücksicht der Ersparung, die daraus

entsteht, daſs man bei allen fünf Systemen beliebig stärkere Gefälle gestatten darf, als für Dampfwagen, ist No. V. in sehr groſsem und entschiedenem Vortheil vor *allen* andern (§. 79. *C.*). Endlich, in Rücksicht der Ersparung an den Kosten, die unter Umständen durch kleinere Halbmesser der Krümmen erzielt werden können, sind No. I. II. und IV. nur in so geringem und zweifelhaftem Vortheil, daſs derselbe nicht in Betracht kommt, und No. V. kann durch dieselben Mittel, welcher zu diesem Zweck die Dampfwagenbahnen und die andern Systeme bedürfen, ebenfalls dieses Vortheils theilhaftig gemacht werden (§. 79. *D.*).

XXIII. Resultat.

82.

Die Summe hievon ist, daſs das System No. V., *mit Luftwagen ohne Triebröhre*, nur in sehr wenigen und unbedeutenden Puncten den andern vier Systemen nachsteht, und den Dampfwagenbahnen fast in keinem, daſs dasselbe dagegen in vielen Puncten so groſse und entschiedene Vorzüge vor allen andern, auch vor den Dampfwagenbahnen besitzt, daſs meines Erachtens kein Bedenken sein kann, dasselbe für das *beste von allen* zu erklären, von welchen bis jetzt die Rede sein darf, und für dasjenige, durch welches, wenn man in äuſserst schwierigen Fällen, nemlich in hohen Bergen, etwa noch No. II. zu Hülfe nehmen will, die Eisenbahnen erst allgemein und überall ausführbar und nutzbar zu machen sein dürften; daſs aber gegentheils dieses Ziel von den *atmosphärischen* Eisenbahnen durchaus nicht zu erwarten sei.

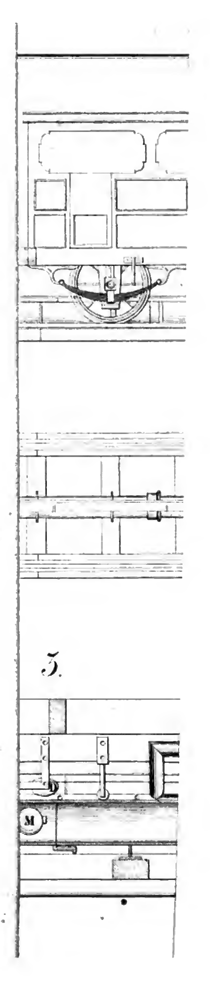
Ich weiſs zwar sehr wohl, daſs alle die *Berechnungen*, auf welche sich in einigen und selbst in den meisten Puncten dieses Endresultat stützt, so sicher auch die Principien sind, von welchen sie ausgehen, in der Praxis noch gar manche Modificationen werde erleiden müssen. Allein da wir einestheils überall, wie man bemerkt haben wird, keineswegs etwa zum Vortheil von No. V. gerechnet haben, sondern eher zum Nachtheil dieses Systems, und anderntheils die Differenzen, welche sich ergaben, so *sehr groſs und bedeutend* sind, daſs schwerlich ein Minus statt eines Plus wird gesetzt werden müssen: so ist wohl sehr zu zweifeln, daſs jemals auch die Praxis ein *entgegengesetztes* Endresultat ergeben werde.

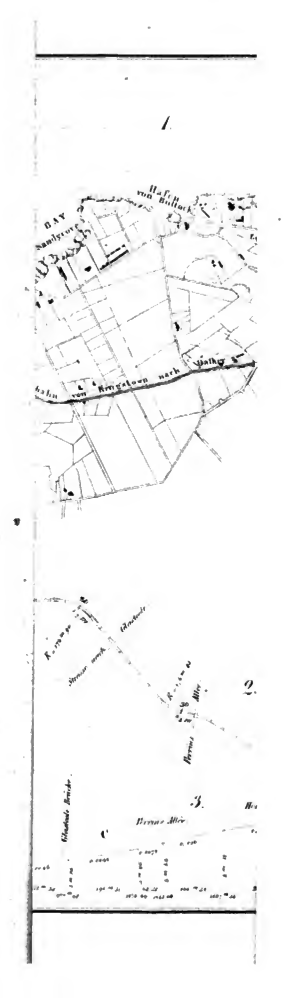
Wir folgern hieraus, daſs es durchaus nicht rathsam sei, die so schätzbaren, eifrigen und kostbaren Bemühungen, die man jetzt so löblicherweise in der neusten Zeit auf die *Vervollkommnung* des Eisenbahnwesens wendet,

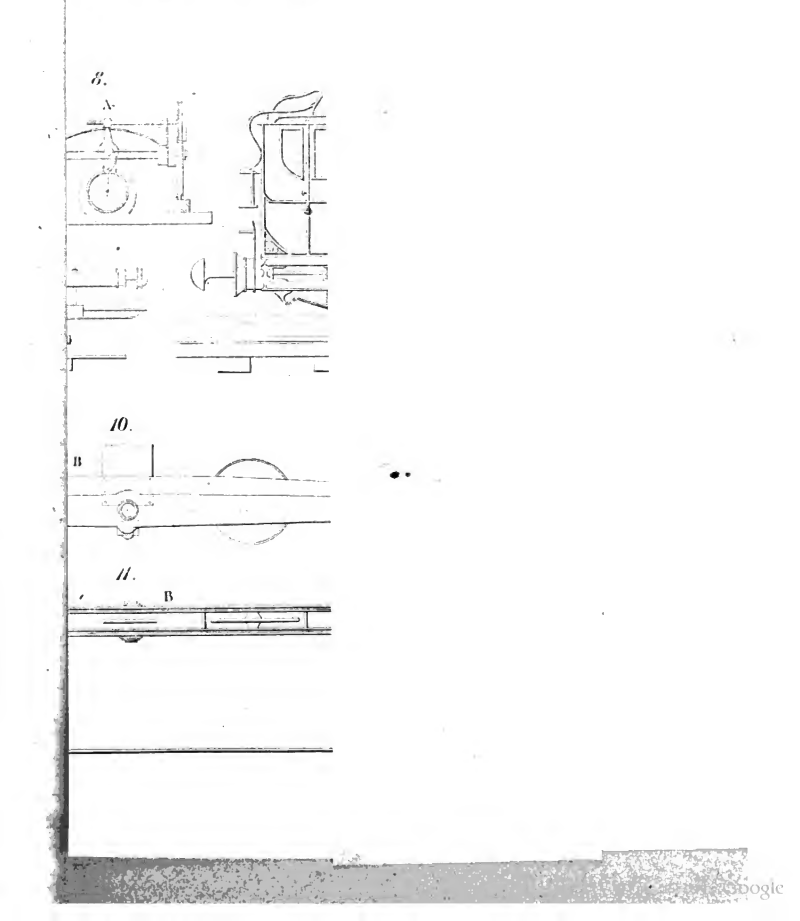
etwa ausschliefslich auf das *atmosphärische* System zu richten, sondern dafs es viel besser gethan sein wird, wenn man sie auch dem System No. V. *mit Luftwagen ohne Triebröhre* zuwendet. Die Probekosten werden hier aufserdem *viel geringer* sein; denn es ist keine *besondere Eisenbahn* dazu zu bauen nöthig, wie eigentlich bei dem *atmosphärischen* System, sondern jede vorhandene Bahn ist zu den Proben geschickt. Es kommt einzig und allein darauf an, *Luftwagen* zu bauen, wozu sogar vorhandene Dampfwagen benutzt werden können, und dann diejenigen Vervollkommnungen dieser Luftwagen zu ermitteln, welche die *zweite* Art derselben gegen die *erste* gewähren dürfte. Gelingt der Versuch, woran zu zweifeln kaum ein Grund vorhanden sein möchte, so sind unabsehbare Vortheile gewonnen. Und Alles wird *nur gewinnen*, Niemand *verlieren*, selbst die Dampfwagenfabriken nicht; denn diese werden dann Luftwagen, Luftpumpen und stehende Dampfmaschinen statt der Dampfwagen zu bauen haben; auch nicht die Brennstoffhändler; denn der Brennstoff wird doch immer meistens zu den stehenden Maschinen verlangt werden. Der Gewinn für die Eisenbahnen selbst, und also für das Gemeine-Beste, würde aber wie gesagt unabsehbar sein, sowohl in Ersparung der Anlagekosten in den schwierigen Fällen, als durch Entfernung des Feuers von der Bahn, und weil dann erst die Eisenbahnen *allgemein* ohne unerschwingliche Kosten ausführbar sein würden. Verfährt man anders, beharrt man bei den *Dampfwagenbahnen*, oder in dem Hülfesuchen bei den *atmosphärischen* Bahnen, so wird man Millionen weggeben, welche man, wenn dann endlich einmal vielleicht doch das Rechte und Bessere sich Platz machen sollte, bitter bereuen wird.

Dieses Endresultat möglichst anschaulich zu machen und nach besten Kräften zu begründen, ist der Zweck der hier vorliegenden Arbeit des Verfassers, die in der That nicht wenig mühsam und beschwerlich war und ihm langes Nachdenken und viele Vorarbeiten gekostet hat. Für sich hat er nur den einen Wunsch, zu erfahren, dafs man sie nicht unbeachtet gelassen habe.

Berlin, im Januar 1845.

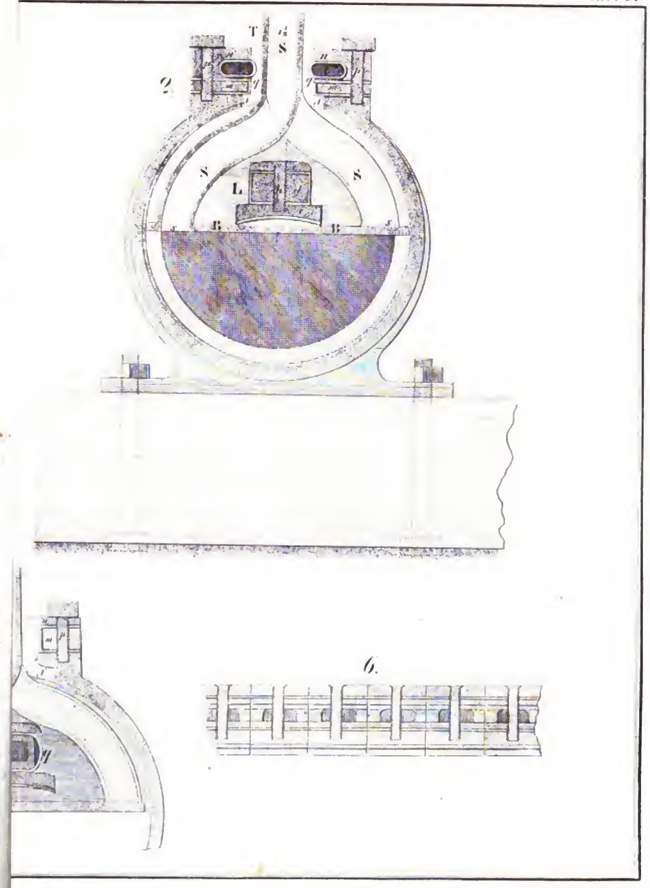

3.
M


1.
Hafen von Bullock
BAY
Sandycove
von Kingstown nach Dalkey
2.
3.
Perrins Allee


8.
A
10.
B
11.
B



16.
F
E
20.
G
B
21.
G
C
D E
22.
zweier Bahne.
H
23.
zweier Bahne
H
25.


2.
T
S
S
L
S
B
B
6.

3.

g

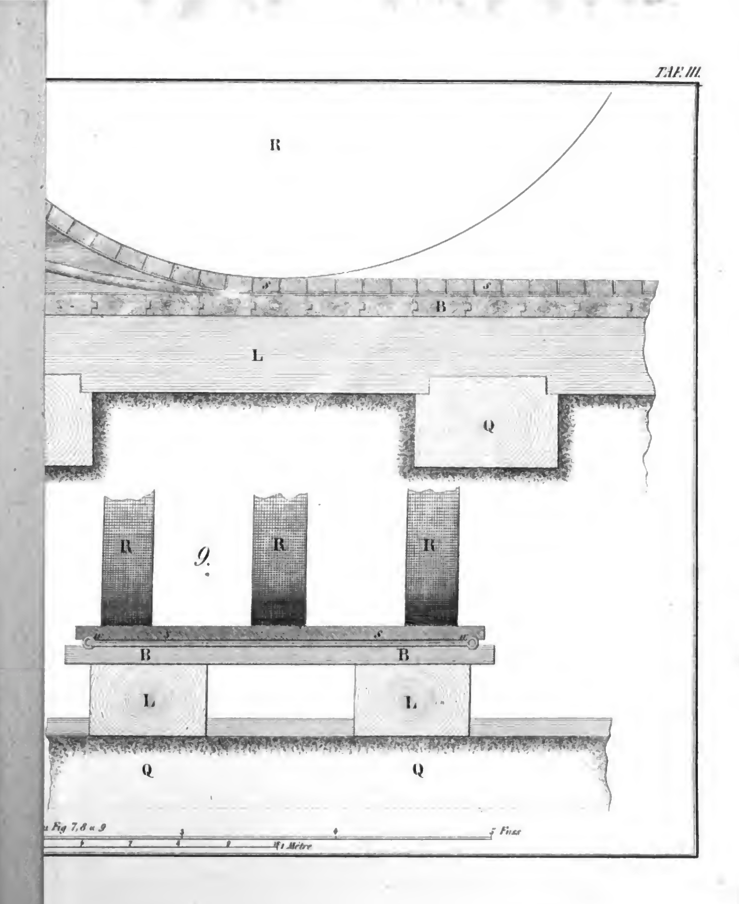
c

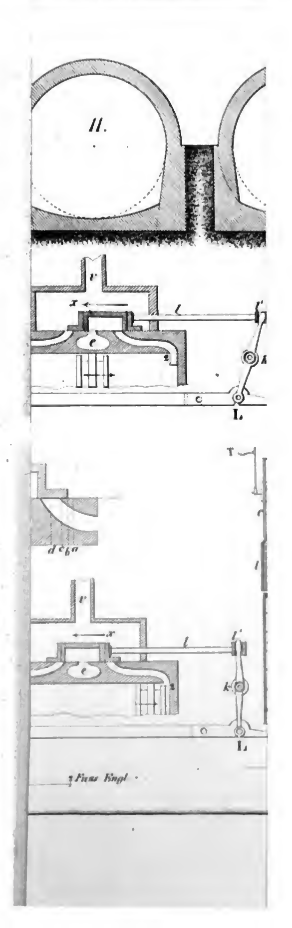
e d b

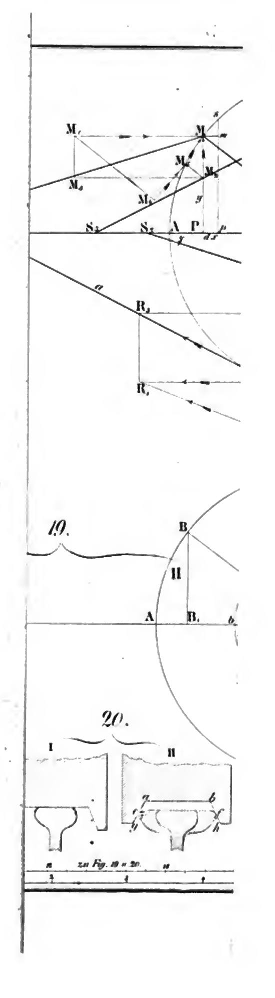
c

R

Zu Fig. 1 — 6.


R
s
s
B
L
Q
R
9.
R
R
B
B
L
L
Q
Q
Fig 7, 8 u 9
Fuss
1 Mètre


II.
v
x
l
l'
e
k
L
o
T
d c b a
3 Fuss Engl


19.
20.
zu Fig. 19 u. 20.



